



**Aalto-yliopisto**  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Arto Kivinen

## **Uusiomateriaaleilla rakennettavan meluvallin geotekniset tarkastelut**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 8. helmikuuta 2016

Valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu, Aalto-yliopisto

Ohjaaja: DI Harri Vehmas, Sipti Infra Oy

---

<b>Tekijä</b> Arto Kivinen		
<b>Työn nimi</b> Uusiomateriaaleilla rakennettavan meluvallin geotekniset tarkastelut		
<b>Koulutusohjelma</b> Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka		
<b>Pää-/sivuaine</b> IA3028 Pohja- ja kalliorakentaminen		<b>Koodi</b> Rak-50
<b>Työn valvoja</b> Professori Leena Korkiala-Tanttu		
<b>Työn ohjaaja</b> DI Harri Vehmas		
<b>Päivämäärä</b> 08.01.2016	<b>Sivumäärä</b> 77	<b>Kieli</b> suomi

---

### Tiivistelmä

Tutkimuskohteena tässä diplomityössä on Vantaan Leppäkorpeen suunniteltu poikkeuksellisen suuri meluvalli. Meluvalli on jopa 16 metriä korkea ja noin 750 metriä pitkä. Diplomityön tarkoitus on etsiä kokonaistaloudellisesti edullinen, kestävä sekä ympäristöystävällinen ratkaisu meluvallin rakentamiseen. Rakentamiskustannuksia ja ympäristövaikutuksia on pyritty pienentämään rakentamisen materiaalivalinnoilla, rakennustavan valinnalla sekä meluvallirakenteen optimoinnilla.

Meluvallin suuren koon takia sen rakentamiskustannukset nousisivat kohtuuttoman suuriksi käytettäessä tavanomaisia rakennusmateriaaleja. Tästä syystä meluvalli on suunniteltu rakennettavan uusiomateriaaleista. Tässä diplomityössä tutkitaan meluvalliin soveltuvia uusiomateriaaleja sekä niiden käytön etuja ja rajoitteita. Uusiomateriaaleilla tarkoitetaan tässä työssä esimerkiksi pulveroitua betonia, rengasrouhetta ja energialaitosten tuhkillla stabiloitua savimaata. Uusiomateriaalien käyttö rakentamisessa on haastavaa, koska ne ovat yleensä laadultaan vaihtelevia eikä uusiomateriaaleista ole olemassa paljoa luotettavaa tutkimustietoa.

Työn laskentaosuudessa tutkitaan rakennusvaiheittain meluvallin stabiliteettia ja painumia. Alustavat stabiliteettilaskelmat on tehty liukupintamenetelmään perustuvalla GeoCalc-laskentaohjelmalla. Tarkemmat stabiliteettilaskelmat sekä painumalaskenta on suoritettu elementtimenetelmään (FEM) perustuvalla PLAXIS-laskentaohjelmalla. Laskelmien avulla kehitettiin kustannustehokas poikkileikkaus, jolla meluvalli voidaan rakentaa turvallisesti uusiomateriaaleja käyttäen. Uusiomateriaalien ominaisuusparametreihin liittyy paljon epävarmuustekijöitä, joten laskentatuloksiin tulee suhtautua kriittisesti. Lopullisten painumien ja stabiliteettien luotettavaa arviointia varten laskelmia tulisi päivittää rakentamisen aikana saatavien seurantatulosten avulla.

---

**Avainsanat** meluvalli, maavalli, uusiomateriaalit, betonimurske, pulveroitu betoni, lentotuhka, massastabilointi, stabiloitu savi, stabiliteetti, painuma

---

---

**Author** Kivinen, Arto

---

**Title of thesis** Geotechnical analysis of a noise barrier made from recycled materials

---

**Degree programme** Structural Engineering and Building Technology

---

**Major/minor** IA3028 Foundation and Rock Engineering **Code** Rak-50

---

**Thesis supervisor** PhD, Professor of Practice Leena Korkiala-Tanttu

---

**Thesis advisor** M.Sc. (Tech.) Harri Vehmas

---

**Date** 08.02.2016**Number of pages** 77**Language** Finnish

---

### Abstract

The research topic of this thesis is an exceptionally high noise barrier planned to Leppäkorpi area located in Vantaa. The noise barrier is up to 16 meters high and about 750 meters long. The objective of this thesis is to find an economical, durable and eco-efficient method to construct the barrier. The construction costs and environmental impacts have been reduced by selecting optimal construction materials, construction methods and optimizing the structure of the barrier.

Due to the large size of the noise barrier the construction costs become unreasonably high when using conventional building materials. For this reason, the noise barrier is designed to be built using recycled construction materials. This thesis presents potential recycled construction materials for noise barrier as well as their advantages and limitations. Examples of recycled materials used in these kind of structures are crushed concrete, crushed tires and clay mixed with fly ash. The main idea of this thesis is particularly the suitability of these recycled materials in the construction of a noise barrier.

The stability and settlement of the planned noise barrier are analysed separately for each construction phase in the calculation section of this thesis. Initial stability calculations are made with GeoCalc software that is based on limit equilibrium method. More accurate stability and settlement calculations are made with finite element method (FEM) based computer program PLAXIS. The calculations were used to develop a cost-effective cross-sectional view of the noise barrier for constructing it using recycled materials. The calculation results should be observed with caution, because calculation parameters for recycled materials involve many uncertainties. The calculations should be updated during construction according to monitored data from the site to reliably predict the final stability and settlements.

---

**Keywords** Noise Barrier, Earth Berm, Recycled Materials, Crushed Concrete, Fly Ash, Stabilized Clay, Stability, Settlement

---

## **Alkusanat**

Tämä diplomityö tehtiin Sipti Infra Oy:ssä opinnäytetyönä osana Aalto-yliopiston diplomi-insinööritutkintoa. Diplomityö toimi osana Vantaan kaupungin tilaamaa meluvallin geoteknistä suunnittelua Sipti Infra Oy:ltä. Työn rahoituksesta vastasi Vantaan kaupunki yhdessä Sipti Infra Oy:n kanssa.

Työn ohjaajana toimi Harri Vehmas Sipti Infra Oy:stä ja valvojana toimi Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Pohjarakennuksen ja maamekaniikan professori Leena Korkiala-Tanttu.

Tässä diplomityössä tutkittiin, kuinka voidaan rakentaa kustannustehokkaasti meluvalleja valtateiden varrelle uusiomateriaaleja käyttäen.

Haluan kiittää työni ohjaajaa DI Harri Vehmasta sekä muuta Sipti Infra Oy:n henkilökuntaa opastuksesta ja neuvoista sekä professori Leena Korkiala-Tanttua työn valvomisesta ja tarkastamisesta. Lisäksi haluan kiittää Heikki Kangasta Vantaan kaupungilta työn mahdollistamisesta sekä kaikesta avusta diplomityöni tekoon. Kiitän myös isääni Mikkoa, äitiäni Valentinaa sekä siskoani Jelenaa tuesta diplomityöni tekemisessä.

Espoo 8.2.2016

Arto Kivinen

---

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	1
Johdanto .....	3
1.1 Työn taustaa .....	3
1.2 Työn tavoitteet .....	4
2 Suunnitteluhankkeen kuvaus .....	5
2.1 Hankkeen sijainti .....	5
2.2 Alueen maaperä ja maankäyttö .....	7
3 Meluvallissa käytettävät materiaalit .....	9
3.1 Uusiomateriaalit .....	9
3.1.1 Yleistä uusiomateriaaleista .....	9
3.1.2 Pehmeät läjitysmaat ja niiden stabilointi .....	11
3.1.3 Energialaitosten tuhkat .....	12
3.1.4 Betonimurske .....	15
3.1.5 Rengaskevennykset .....	18
3.2 Pintamateriaalit ja kasvillisuus .....	19
4 Suunnittelun lähtötiedot .....	20
4.1 Pohjatutkimukset .....	20
4.2 Stabiloidun saven laskentaparametrien määrittäminen .....	24
4.2.1 Stabilointikokeet .....	24
4.2.2 Leikkauslujuuden määrittäminen puristuskokeen tuloksista .....	29
4.2.3 Laboratoriotulosten korjauskertoimen määrittäminen .....	31
4.3 Melumallinnus .....	32
4.4 Laserkeilausaineisto .....	35
4.5 Muut lähtötiedot .....	35
5 Meluvallin suunnittelu .....	35
5.1 Meluvallin korkeuden määrittäminen .....	35
5.2 Poikkileikkauksen suunnittelu .....	38

---

5.3	Vallin jako altaisiin ja määrälaskenta.....	43
5.4	Pohjanvahvistustoimenpiteet.....	48
5.5	Massastabilointi.....	51
5.5.1	Stabilointityö.....	51
5.5.2	Massastabiloinnin laadunvarmistus.....	52
5.6	Hulevesien hallinta.....	53
6	Meluvallin geotekninen laskenta.....	56
6.1	Laskentaparametrien määrittäminen.....	56
6.2	Varmuuskertoimien määrittäminen.....	57
6.3	Alustavat stabiliteettilaskennat liukupintamenetelmällä.....	58
6.4	Laskennat elementtimenetelmällä.....	61
6.4.1	Yleistä elementtimenetelmästä.....	61
6.4.2	Mohr-Coulombin materiaalmalli.....	62
6.4.3	Stabiliteettilaskelmat elementtimenetelmällä.....	65
6.4.4	Meluvallin painumat ja niiden laskenta.....	69
7	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	71
	Lähdeluettelo.....	74

---

## Johdanto

### 1.1 Työn taustaa

Asuinalueita kaavoitettaessa halutaan varmistaa hyvät liikenneyhteydet tuleville asukkailla. Liikenneväylien lähelle kaavoitettaessa on ongelmana liikenteestä aiheutuva melu, joka asettaa haasteita viihtyisien asuinalueiden rakentamiselle. Yleisesti käytetty tapa vähentää liikenteestä aiheutuvaa melua on meluntorjunta melusteiden avulla. Tässä diplomityössä tarkasteltu meluvallin suunnittelualue sijaitsee Vantaan Leppäkorvessa, Lahden moottoritien (Vt 4) vieressä. Meluvalli rakennetaan, jotta saadaan lisää kaavoitustilaa pääkaupunkiseudun asuinrakennuksille hyvien liikenneyhteyksien päähän.

Sopivaa meluestettä valitessa yksi tärkeimpiä kriteereitä on meluesteen vaatima tilantarve. Meluvallit ovat yleensä edullisempia rakentaa, kuin melusteet, mutta vallit vievät paljon enemmän tilaa (Liikennevirasto 2015). Vilkkaasti liikennöityjen teiden lähetyville ei suositella rakennettavan rakennuksia tai ulkoilualueita tieltä kantautuvien ilmansaasteiden ja erityisesti melun takia. Tämän takia suurten teiden vieressä oleva alue voidaan varata melusteiden rakentamiselle.

Meluvallit vaativat runsaasti täyttömateriaalia. Meluvallin täyttömateriaaliksi soveltuu lähes mikä tahansa materiaali, kunhan rakenne pysyy pystyssä ja ympäristölle ei aiheudu merkittäviä haittavaikutuksia. Meluvallin täyttö voidaan rakentaa myös useammasta erilaisesta materiaalista esimerkiksi kerroksiin tai osiin jakamalla. Tässä diplomityössä on tutkittu uusiomateriaalien soveltumista meluvallien täyttömateriaaliksi. Uusiomateriaaleilla tarkoitetaan tämän työn yhteydessä esimerkiksi maankaivun ylijäämämassoja, purettavista rakennuksista saatavaa betonimursketta sekä energialaitosten polttoprosesseissa syntyvää tuhkaa ja kuonaa. Uusiomateriaaleja käyttämällä saadaan normaalisti maankaatopaikalle läjitettävät massat hyötykäyttöön. Näin myös maankaatopaikkojen tarvetta voidaan vähentää.

---

## **1.2 Työn tavoitteet**

Työssä etsitään kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä tapaa rakentaa toimiva ja kestävä meluvalli. Uusiomateriaalien käyttö parantaa kiertotaloutta, jolloin materiaalien ekotehokkuus paranee. Lisäksi kustannuksia voidaan minimoida hyödyntämällä meluvallin rakentamisessa uusiomateriaaleja. Koekohteessa meluvallia rakennettaisiin pitkällä aikavälillä ja se toimisi samalla kaivumassojen ja purkubetonin vastaanottoaikkana. Vallin rakentamiskustannuksia pyritään kompensoimaan näiden uusiomateriaalien vastaanottamisesta saatavilla tuloilla.

Tutkimuskohteena tässä diplomityössä on poikkeuksellisen suuri, noin 14 m korkea meluvalli. Vallin stabiliteettia ja painumia tutkittiin erilaisilla poikkileikkausvaihtoehdoilla. Lisäksi on tutkittu uusiomateriaalien ja erilaisten yhdistelmä rakenteiden soveltuvuutta meluvallin rakentamiseen. Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa vastaavien meluvallien tai muiden pengerrakenteiden suunnittelussa.

Meluvallin rakentaminen on suunniteltu tehtävän sitä mukaan kuin sopivia materiaaleja on saatavilla ja niiden vastaanottaminen on kokonaistaloudellisesti edullisinta. Valli rakennetaan useasta 2...6 m korkeasta pengerkerroksesta. Rakenne muodostuu murskatusta purkubetonista rakennetuista reunavalleista, jotka muodostavat altaita. Nämä altaat täytetään pehmeillä läjitysmailla, esimerkiksi savella. Altaisiin varastoitu savi stabiloidaan massastabilointitekniikalla. Alimman kerroksen täyttöjen jälkeen rakennetaan stabiloidulla savella täytettyjen altaiden päälle uusi reunavalli murskatusta betonista, joka muodostaa uuden altaan. Rakentamista jatketaan samalla tekniikalla, kunnes saavutetaan haluttu korkeus.

Meluvallia on myös alustavasti suunniteltu jatkettavan Jokivarrentien eteläpuolelle sekä rakennettavan Lahdentien vastakkaiselle puolelle. Jos tässä diplomityössä esitetty rakennustapa havaitaan hyväksi, niin samaa rakennustapaa voidaan käyttää muiden alueelle suunniteltujen meluvallien rakentamiseen. Toteutuksesta saatujen palautteiden avulla voidaan tätä rakennustapaa hyödyntää myös muualla Suomessa tai maailmalla.



## 2 Suunnitteluhankkeen kuvaus

### 2.1 Hankkeen sijainti

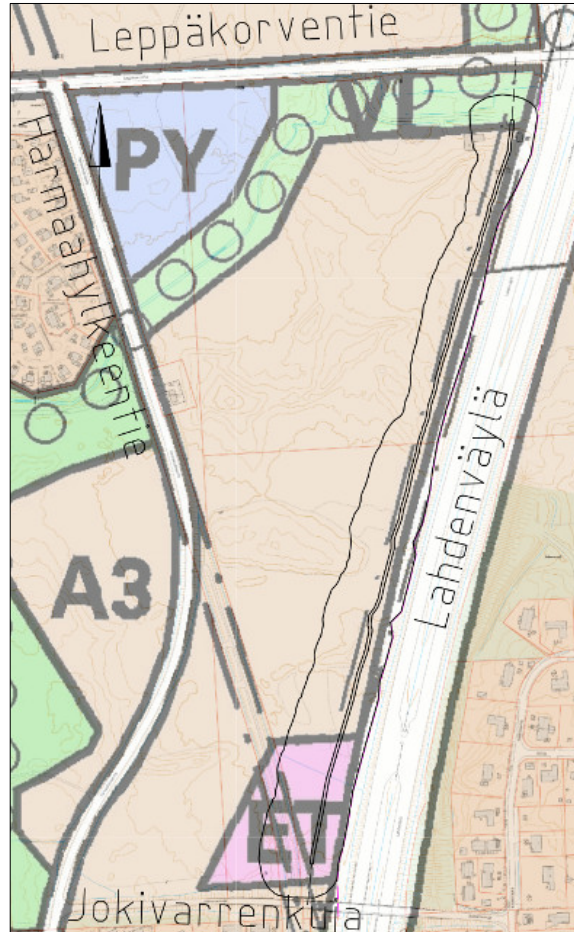
Tarkasteltava kohde sijaitsee Vantaalla Leppäkorven kaupunginosassa, Lahdentien (Vt 4) vieressä. Tässä työssä tarkasteltu meluvalli on suunniteltu Lahdentien länsipuolelle torjumaan Lahdentieltä tulevia meluhaittoja sekä ilmansaasteita. Pituussuunnassa meluvalli rajautuu etelässä Jokivarrentiehen ja pohjoisessa Leppäkorventiehen. Alueen sijainti on esitetty kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Meluvallin sijainti. (Vantaan kaupunki 2015.)

Meluvalli rakennetaan alueelle, joka on kaavoitettu yleiskaavassa pientaloalueeksi. Leppäkorven alueen yleiskaava on esitetty kuvassa 2.2. Lahdenväylän ja Harmaahylkeentien väliselle alueelle ei voida rakentaa, ellei sitä suojata suurella meluvallilla. Meluhaittojen lisäksi valli suojaa aluetta liikenteen aiheuttamilta pienhiukkaspäästöiltä. Tälle alueelle ei voida kaavoittaa kerrostaloja, mutta sinne voidaan kaavoittaa ja rakentaa pientaloja meluvallin rakentamisen jälkeen. Pientaloalueen rakentaminen ei tuo suuria tuottoja verrattuna esimerkiksi kerrostaloalueeseen, joten meluvallin rakentamiskustannuksetkaan eivät

saa olla kovin suuria. Mikäli melua ei saada torjuttua tarpeeksi kustannustehokkaasti, alueille ei voida rakentaa asuinrakennuksia.

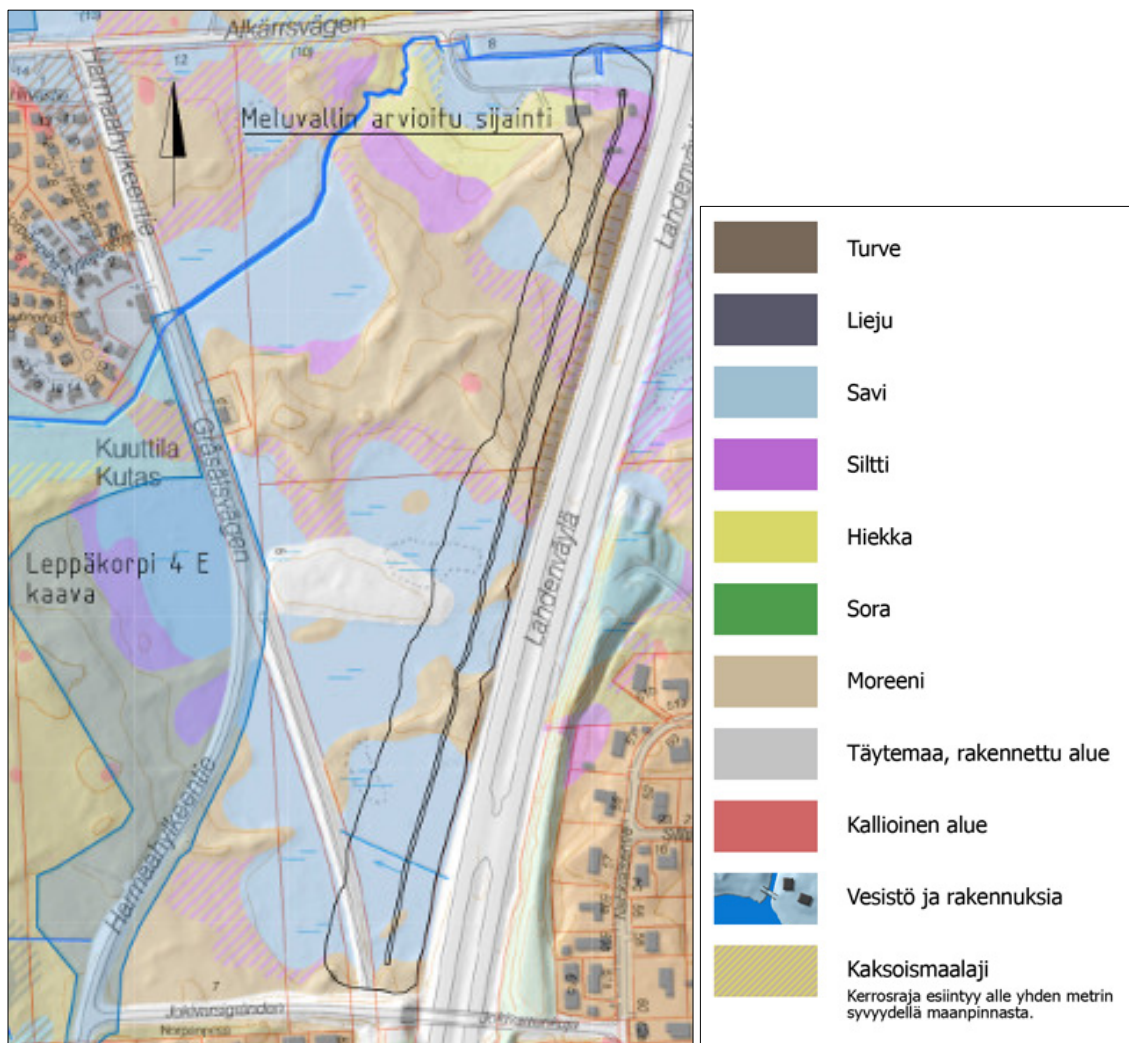


Kuva 2.2. Yleiskaava.

Yleiskaavassa vaaleansinisellä esitetty alue (PY) on julkisten palvelujen ja hallinnon alue, vaaleanvihreällä esitetty (VL) on lähivirkistysalue, eli alue varataan yleiseen virkistystoimintaan ja lähiulkoiluun. Yleiskaavassa suunnittelualueen eteläosassa oleva vaaleanpunainen (ET) on yhdyskuntateknisen huollon alue. Kaavassa pientaloalueet on esitetty vaaleanruskeana (A3). Harmaaahylkeentien länsipuolella olevasta pientaloalueesta on jo viireillä asemakaava Leppäkorpi 4 E, joka voidaan rakentaa, vaikka meluvallia ei tehtäisi. Harmaaahylkeentien ja Lahdenväylän väliin jäävää pientaloaluetta halutaan saada mahdollisimman paljon rakentamiskäyttöön suunnitellun meluvallin avulla.

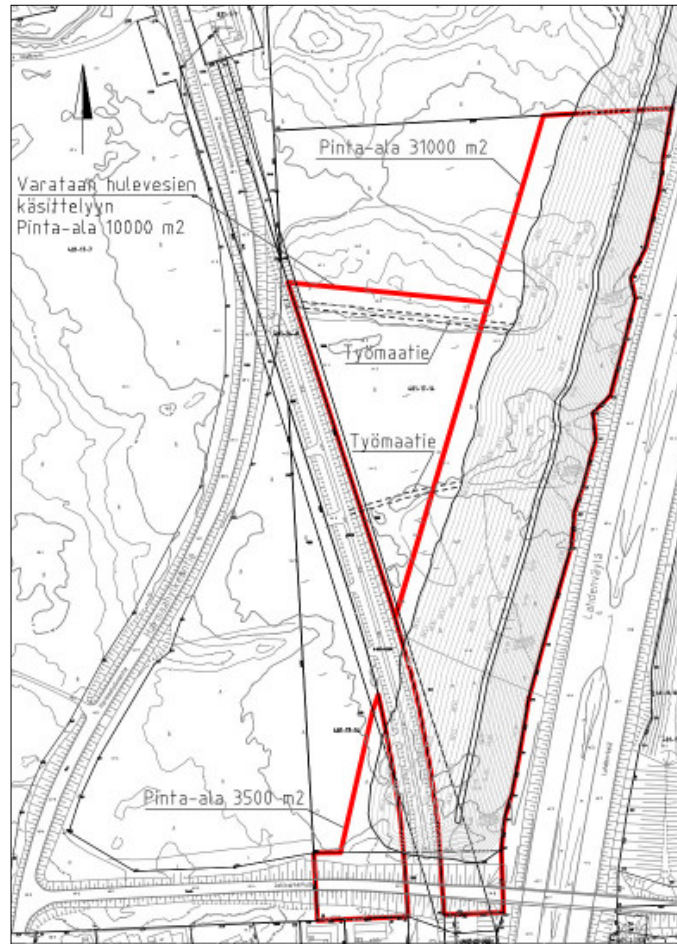
## 2.2 Alueen maaperä ja maankäyttö

Alue on nykytilassa ennen meluvallin rakentamista rakentamatonta mäkiä metsää. Maaperä alueella on moreenia, silttiä ja savea. Suunnitellun meluvallin kohdalla maanpinnan korkeustaso vaihtelee välillä +38...+52 merenpinnan yläpuolella mitattuna N2000-korkeusjärjestelmässä. Arviolta puolella alueen pinta-alasta on noin 0,5...4,5 m paksu savi-kerros päälimmäisenä kerroksena. Kuvassa 2.3 on esitetty alueen maalajikartta. Maalajikartta kuvaa alueen maaperää noin metrin syvyyteen, eli arvioi minkälainen maakerros alueella on pintamaan alapuolella. Tarkemmat tiedot alueen maaperästä on esitetty tämän diplomityön kohdassa 4.1, jossa käsitellään alueelta tehtyjä pohjatutkimuksia.



Kuva 2.3. Maaperäkartta.

Suunnitellun meluvallin rakenteen pohjan pinta-ala on noin 45000 m<sup>2</sup>. Lisäksi hulevesien pois johtamista varten tehtäviä ojia ja suodatusaltaita varten alueelta tulee varata noin 18000 m<sup>2</sup>, eli suunnitelmien mukainen meluvalli veisi alueelta yhteensä noin 63000 m<sup>2</sup> rakennustilaa. Suunnittelualueen keskikohdassa kulkee itä-länsisuunnassa tonttialueen raja, joka jakaa meluvallin alueen kahteen lähes yhtä suureen osaan. Alueen pohjoisosa kuuluu Vantaan kaupungille, mutta eteläosa kuuluu yksityiselle maanomistajalle. Ennen meluvallin rakentamista Vantaan kaupungin tulee ostaa alueita yksityiseltä maanomistajalta meluvallia, hulevesijärjestelyjä sekä työmaan vaatimia tiloja varten. Kuvassa 2.4 on esitetty meluvallin vaatimien alueiden ostamista varten tehty suunnitelma. Suunnitelmassa Vantaan kaupungin hankittavat maa-alueet on rajattu punaisella viivalla.



Kuva 2.4. Alueen eteläosa, aluehankinnat.

## 3 Meluvallissa käytettävät materiaalit

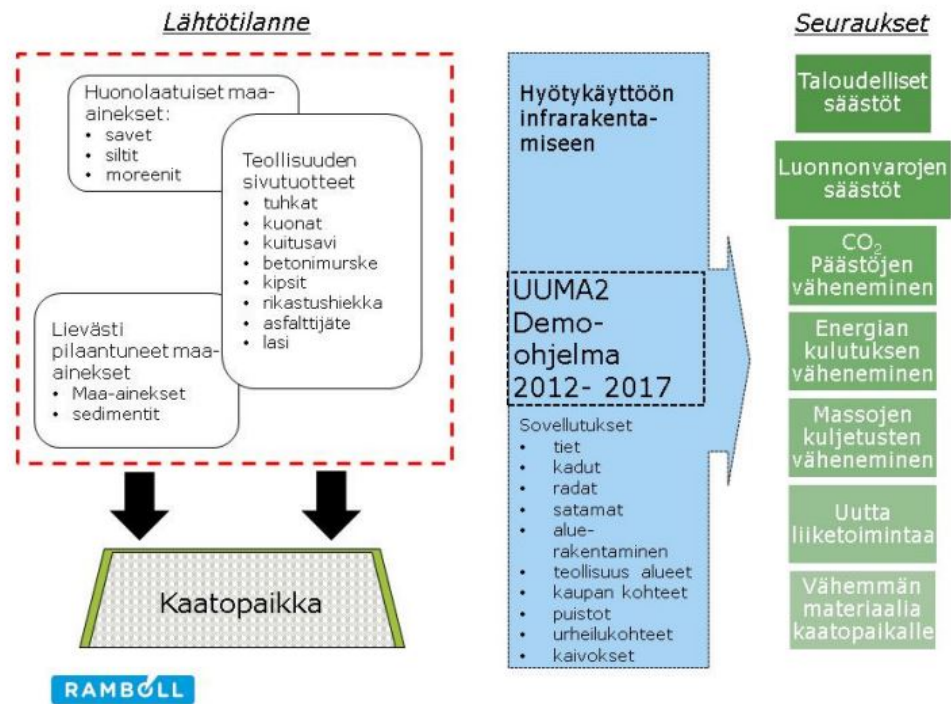
### 3.1 Uusiomateriaalit

#### 3.1.1 Yleistä uusiomateriaaleista

Rakennusalalla ja teollisuudessa syntyy runsaasti ylijäämämassoja, joita pyritään hyödyntämään maanrakennuksessa. Kiviaineksia voidaan korvata betoniteollisuudesta tai purkutyömailta saatavalla murskatulla betonilla ja uudisrakennustyömaiden sekä yhdyskuntatekniikan rakentamisen kaivumassoja voidaan käyttää hyödyksi kaivantojen ja penkereiden täyttömateriaaleina. Pehmeät ja vesipitoiset kaivumaat ovat uusiokäytön kannalta haasteellisia, mutta myös näille pyritään löytämään käyttötarkoitus. Tarvittaessa näitä pehmeitä savi- ja sedimenttimassoja voidaan vahvistaa stabiloimalla, eli sekoittamalla niihin sideainetta. Sideaineina perinteisesti on käytetty kalkkia ja sementtiä, mutta sideaineeksi kelpaa myös esimerkiksi energialaitosten sivutuotteena syntyvä polttokuona. (Lahtinen ym. 2013.)

Ylijäämämassoja, teollisuuden sivutuotteita ja purkubetonia voidaan nimittää uusiomateriaaleiksi, jos niille pystytään löytämään hyötykäyttökohde. Näille uusiomateriaaleille etsitään jatkuvasti uusia käyttökohteita. Yksi hyväksi havaittu kohde on käyttää näitä meluvallien täyttömateriaaleina. Erityisesti purkutyömailta saatava betoni soveltuu hyvien lujuusominaisuuksien ansiosta suurien meluvallien rakentamiseen. Muita meluvallissa hyödynnettäviksi soveltuvia uusiomateriaaleja ovat muun muassa käytetyt autonrenkaat sekä niistä valmistettava rengasrouhe, joita voidaan käyttää tarvittaessa kevennysmateriaaleina.

Uusiomateriaalien hyötykäytön edistämiseksi on laadittu UUMA-kehitysohjelma. Vuosina 2006-2010 toteutettiin ensimmäinen UUMA-kehitysohjelma ympäristöministeriön, Tekesin, Tiehallinnon ja Sitran yhteistyönä. UUMA-kehitysohjelman seuraavaksi vaiheeksi on laadittu uuden ohjelmakauden UUMA2 demonstraatio-ohjelma vuosille 2013-2017, jonka suunnittelutyön on toteuttanut Ramboll Oy ja Destia Oy. UUMA2-ohjelman lähtötilanne ja tavoitteet on esitetty kuvassa 3.1. (Lahtinen ym. 2013.)



Kuva 3.1. UUMA2-ohjelman lähtötilanne ja tavoitteet (Lahtinen ym. 2013).

Uusiomateriaalien hyötykäyttöä ovat jarruttaneet jätteitä koskevat vanhentuneet asetukset ja lait. Urakoitsijat olisivat valmiita käyttämään uusiomateriaaleja, jos niiden käyttö olisi helpompaa ja materiaaleille asetetut vaatimukset selkeämpiä. (Lahtinen ym. 2013.)

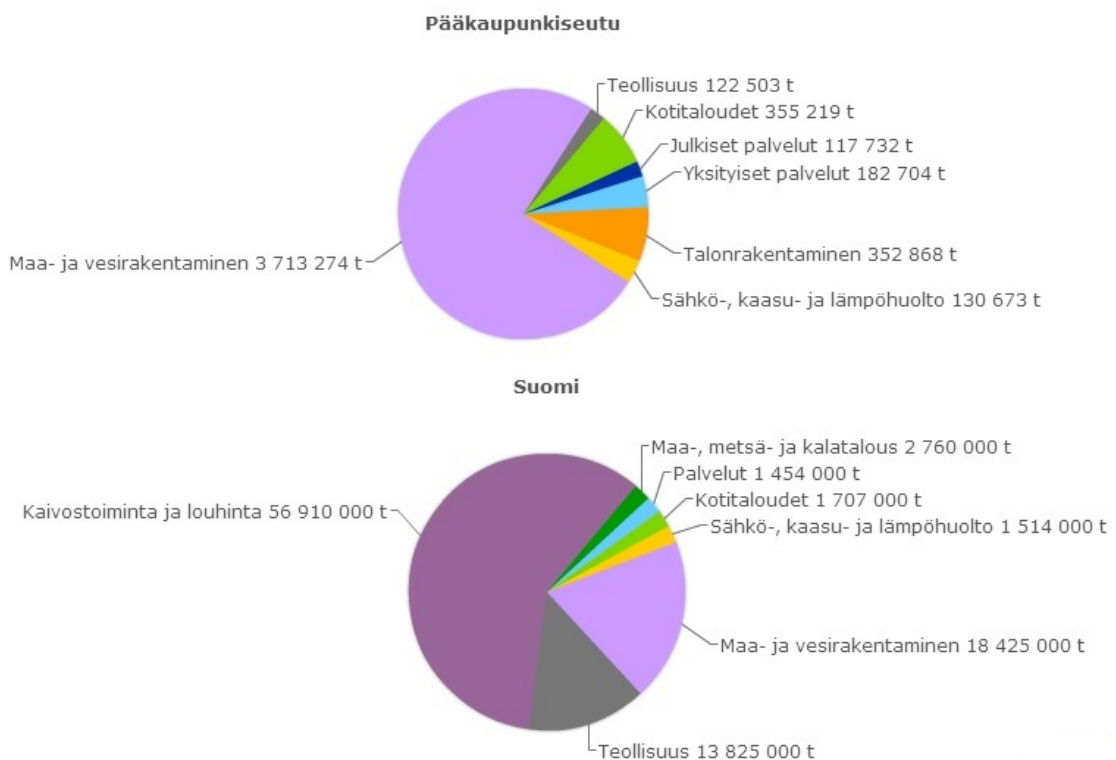
Hyödyntämisteknologiat uusiomateriaalien käyttöä varten ovat kehittyneet paljon 2000-luvulla. Erilaisista uusiomateriaaleista on tehty paljon testejä ja tutkimuksia, mutta niiden tuotteistaminen on ollut hidasta. Myös materiaalien käsittelylaitteistot ja prosessointi ovat kehittyneet uusiomateriaalien hyödyntämisen tavoittelun myötä. Uusiomateriaalien käyttöä helpottaisi uusiomateriaaleja koskevien säädösten ja lakien saattaminen ajan tasalle. (Pajukallio ym. 2011.)

Vallin rakentamisessa pyritään säästämään luonnonvaroja sekä maksimoimaan kustannustehokkuutta. Näihin säästöihin päästään noudattamalla UUMA2-ohjelman mukaisia uusiomateriaalien käyttötavoitteita. Uusiomateriaalien käyttö vähentää maankaatopaikkojen tarvetta, neitseellisten luonnonvarojen käyttöä sekä maarakentamisen ympäristövaikutuksia.

### 3.1.2 Pehmeät läjitysmaat ja niiden stabilointi

Kaivettuja maamassoja sekä louhittua kiviainesta syntyy runsaasti talojen ja yhdyskuntatekniikan rakentamisen yhteydessä. Karkearakeiset moreeni- ja hiekkamaat sekä kiviainekset pystytään hyödyntämään lähes aina rakennuskohteessa tai sen lähistöllä. Kaivettujen pehmeämpien ja hienorakeisten savi- ja silttimaiden hyödyntäminen on kuitenkin haastavampaa niiden rakentamisen kannalta epäedullisten ominaisuuksien takia. Pääkaupunkiseudulla hyvien rakennuspaikkojen loppuessa rakennetaan yhä heikommin kanta-ville alueille. Tästä johtuen yhä enemmän pääkaupunkiseudulla syntyvistä kaivumassoista on pehmeitä maita, joille on vaikeaa löytää lähellä oleva, kustannuksiltaan kohtuullinen loppusijoituspaikka.

Kaivumaa luokitellaan jätteeksi, kun se sijoitetaan maankaatopaikalle tai kun sille ei voida etukäteen osoittaa hyötykäyttökohdetta. Maankaivusta saadut maamassat ovat määrältään selkeästi suurin jättejae pääkaupunkiseudulla. Kuvassa 3.2 on esitetty Helsingin seudun ympäristöpalvelujen arviot pääkaupunkiseudulla ja Suomessa syntyneistä jättemääristä vuonna 2012. Erityisesti pääkaupunkiseudulla hyödyntämällä aiemmin jätteeksi luokiteltuja aineita rakentamisessa säästettäisiin niiden loppusijoituskustannuksissa. (Suominen 2015.)



Kuva 3.2. Jätteiden määrä pääkaupunkiseudulla ja Suomessa vuonna 2012 (HSY 2015).

Kaivumassat, joita ei voida hyödyntää rakentamisessa täytyy läjittää ylijäämämassojen sijoituspaikalle. Tämä on ongelma erityisesti taajama-alueilla läjitysmaiden varastoinnin tilanpuutteen ja siitä johtuvien pitkien kuljetusmatkojen vuoksi. Vuositasolla ylijäämämaata syntyy pääkaupunkiseudulla noin 13 miljoonaa kuutiota, joista suuri osa hyödynnetään lähellä sijaitsevissa rakennuskohteissa. Osa ylijäämämaista joudutaan loppusijoittamaan maankaatopaikalle. Näille sijoituspaikoille ei ole pääkaupunkiseudulla tarpeeksi tilaa, joten kuljetusmatkat venyvät pitkiä. Helsinkiä lähimmät vastaanottoaikat ovat yli 50 kilometrin päässä ja ne ovat kooltaan verrattain pieniä. Pitkistä kuljetuksista ja ylijäämämaan vastaanotosta aiheutuu suuria kustannuksia. Näiden kustannusten suuruus on pelkästään Helsingin alueella arviolta 25 miljoonaa euroa vuodessa. Helsingin kaupungin kaivumaiden kehittämissuunnitelmassa on listattu maa-ainesten uudelleenkäytön edistämisen toimenpiteiksi mm. kaivumaiden tilastointia, seuranta, tiedotusta, vastuualueiden jakamista sekä uudelleenkäytön prosessin yksinkertaistamista. (Suominen 2014.)

Meluvalleihin ei tavanomaisesti kohdistu suuria ulkopuolisia kuormia eikä niiden tekniset toimivuusvaatimukset ole kovin tiukkoja, joten meluvalleissa voidaan hyödyntää myös rakenteellisesti heikompia maamassoja, kuten savia ja sedimenttejä. Näiden maamassojen hyötykäyttö on suotavaa, koska yleensä heikommat maamassat joudutaan läjittämään maankaatopaikalle. Riittävän vakavuuden takaamiseksi meluvallille, pehmeät savet ja sedimentit tulee kuitenkin yleensä vahvistaa stabiloimalla, eli sekoittamalla sideainetta maamassoihin. Tavanomaisesti stabiloinnissa on käytetty kalkkia, sementtiä tai näiden yhdistelmää. Stabiloinnissakin voidaan myös hyödyntää uusiomateriaaleja, kuten energialaitosten polttoprosessin sivutuotteena syntyvää lento- ja pohjatuhkaa.

### 3.1.3 Energialaitosten tuhkat

Energialaitosten lento- ja pohjatuhkat ovat erilaisten polttoaineiden palamisprosessissa syntyviä materiaaleja, jotka luokitellaan jätteiksi. Polttoaineena voi olla esimerkiksi turvetta, hakkuutähteitä, biolietettä tai talousjätteitä. Tuhkien käyttäminen stabiloinnissa olisi suotavaa, koska näin päästään hyödyntämään normaalisti jätteeksi päätyvää materiaalia. Tuhkaa voidaan yhdistää myös muihin sideaineisiin, esimerkiksi tekemällä sekoitus tuhkasta, kalkista ja sementistä. Taulukossa 3.1 on esitetty polttotuhkien luokittelu eurooppalaisten standardien mukaan.



*Taulukko 3.1. Eurooppalaisen toissijaisten kiviainesten standardin (CEN/TC 154/WG 12) mukainen tuhkien luokittelu.*

Lähde	Tunnus	Määritelmä
<b>B Yhdyskuntajätteen- poltto</b>	B1	Yhdyskuntajätteenpolton pohjatuhka
	B2	Yhdyskuntajätteenpolton lentotuhka
<b>C Kivihiilen poltto</b>	C1	Kivihiilen pölypolton lentotuhka
	C2	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (750–900 °C)
	C3	Kivihiilen kattilakuona (1500–1700 °C)
	C4	Kivihiilen arinapolton pohjatuhka
	C5	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (800–900 °C)
<b>I Muut</b>	I1	Paperilietteenpolton tuhka
	I2	Vedenkäsittelyjätteenpolton tuhka
	I3	Biomassatuhka

Materiaalin tasalaatuisuus on ongelma energialaitosten sivutuotteiden käytössä rakentamisessa (Kariniemi 2014). Tämän takia tuhkamateriaalin käytössä on suositeltavaa tehdä jatkuvaa laadunvalvontaa, erityisesti jos voimalaitoksella käytettävä polttoaine vaihtelee eri vuodenaikoina tai prosessiin tehdään muutoksia (Kiviniemi et al. 2012).

### **Jätteenpolton pohjakuona**

Yhdyskuntajätteenpolton pohjatuhkaa nimitetään yleensä pohjakuonaksi ja se koostuu kuonasta, metallista, lasista, keraamisista materiaaleista sekä palattomista orgaanisista aineksista. Pohjakuona täytyy esikäsitellä ennen sen uusiokäyttöä massastabilointiin. Esikäsitteilyllä parannetaan ympäristökelpoisuutta poistamalla kuonasta haitallisia aineita ja vähentämällä kuonan haitta-aineiden liukoisuutta. Esikäsitteilytapoja on esimerkiksi ikäännytyks ja metallien fysikaalinen erottelu. (VTT 2010.)

Jätteenpoltossa syntyvässä polttokuonassa on mukana metalleja, jotka pyritään erottelemaan ja ottamaan talteen. Metallien erottelu tehdään kahdella eri tavalla. Ensimmäisellä erotuksella poistetaan magneettiset kappaleet kuonasta magneettien avulla. Kuonaa levitetään liikkuvalla alustalle, jonka lähettyville asetettu magneetti vetää puoleensa magneettiset kappaleet pois kuonasta. Toisella tavalla pyörrevirtaerottimella indusoidaan ei-magneettisiin metalleihin magneettikenttä, jonka jälkeen myös ei-magneettiset metallit saadaan eroteltua kuonasta magneettien avulla. Magneettierottelua voidaan tehostaa jakamalla kuona useaan raekokoluokkaan. (VTT 2010.)



*Kuva 3.3. Esimerkkikuva jätteenpolttolaitoksen pohjakuonanäytteestä (VTT 2010).*

Ikäännytys tehdään yleensä metallien erotuksen jälkeen. Ikäännytys on yksinkertaisimmillaan kuonan välivarastointia, jossa sen annetaan reagoida ilman hiilidioksidin ja veden kanssa. Käytännössä tämä tapahtuu varastoimalla pohjakuonaa katettuun tai avoimeen tilaan, jossa se on alttiina ilmalle ja mahdollisesti sateelle. Ikäännytyttä voidaan tehostaa kastelemalla pohjakuonaa tai altistaa pohjakuona esimerkiksi savukaasulle, jossa on tavallista ilmaa suurempi hiilidioksidipitoisuus. Ikäännytys on tarpeellista, koska tuore pohjakuona on kemiallisesti herkkä reagoimaan, jolloin siitä liukenee helposti haitallisia aineita ympäristöön. (VTT 2010.)

### **Lentotuhka**

Lentotuhka on pohjakuonan tapaan energialaitosten polttoprosessissa syntyvää sivutuotetta. Lentotuhka on savukaasuista erotettava tuhka, kun pohjakuona on polttokattilan pohjalle kerääntyvää tuhkaa. Lentotuhka on siis huomattavasti hienojakoisempaa kuin pohjakuona. Lentotuhkalla on sementinkaltaisia lujittumisominaisuuksia. Lentotuhkaa käsittelemällä sen liukoisuutta voidaan pienentää ja sen lujittumisominaisuuksia parantaa. Pohjakuonan tavoin myös lentotuhkaa voi ikäännyttää varastoimalla sitä kostutettuna, jolloin siinä tapahtuvan mineralisoitumisen ansiosta haitta-aineiden liukoisuus pienenee (Kiviniemi 2010.)

---

Lentotuhkan hienorakeisuuden sekä hyvien lujittumisominaisuuksien ansiosta se soveltuu erittäin hyvin massastabiloinnin sideainemateriaaliksi. Tässä diplomityössä suunniteltua meluvallia varten on tehty massastabilointikokeita, joissa sideaineena on hyödynnetty lentotuhkaa. Kokeiden menetelmiä sekä tuloksia on esitetty kohdassa 4.2.

Massastabiloinnissa käytetyt koneet asettavat myös rajoitteita sille minkälaisia sideaineita voidaan stabiloitavan massan sekaan syöttää. Esimerkiksi pohjakuona on yleensä karkeajakoista, joten se voi tukkia massastabiloinnissa käytettävän sideaineensyöttöjärjestelmän. Hienojakoisempi lentotuhka soveltuu paremmin massastabilointikoneen käyttöön, mutta myös lentotuhkan käytössä tulee olla tarkka laadunvalvonnan kanssa. Tämän diplomityön kohdassa 5.5 on esitetty tarkemmin meluvallin rakentamisessa käytettävä massastabilointiprosessi.

### **3.1.4 Betonimurske**

Suomessa käytetään rakentamisen raaka-aineeksi 80 miljoonaa tonnia luonnonkiviaineksiä joka vuosi (Betoni 2015). Tarve korvata neitseellisiä luonnonmateriaaleja vaihtoehtoisilla materiaaleilla on lisääntynyt. Purkutyömailta ja betoniteollisuudesta saadaan runsaasti betonimurskettä, jolla voidaan korvata soraa ja kalliomurskettä. Betonimurske on osoittautunut ominaisuuksiltaan erittäin hyväksi materiaaliksi infra- ja talonrakennuskohteissa.

Euroopan parlamentti ja neuvosto ovat asettaneet vuonna 2008 direktiivin jätteistä, jonka tavoitteena on, että rakennus- ja purkujätteestä kierrätetään vähintään 70 painoprosenttia vuoteen 2020 mennessä. Suomessa pääkaupunkiseudulla syntyy betonijätettä noin puoli miljoonaa tonnia vuodessa. Pääkaupunkiseudun kuntien tavoitteena on hyödyntää kaikki alueella muodostuva betonijäte betonimurskeena. (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015.)

Vuosittain Suomessa syntyy 700 000 tonnista miljoonaa tonnia betonijätettä, josta noin 80 prosenttia kierrätetään. Suurin osa betonijätteestä syntyy purkutyömailta. Suomessa betonirakennusten purkujätteiden kierrätys on edistyksellistä kehittyneiden purkutekniikoiden ansiosta. Kierrätettävän betonijätteen määrää on vielä syytä nostaa korkeammaksi,

koska edellytykset betonin kierrätykselle ovat hyvät ja purkubetonista saadaan hyvää uusiorakennusmateriaalia. (Betoni 2011.)

Betonimurskeet on myös tuotteistettu ja luokiteltu neljään BeM-luokkaan. Luokitus on erityisen hyödyllistä, kun tarvitaan tasalaatuisuutta, kantavuutta ja tarkempia lujuusarvoja materiaalilta. Esimerkiksi käytettäessä betonimursketta teiden rakennekerroksissa tai perustusten alustätyöissä on huolehdittava tarkkaan materiaalin laadusta. Korkeampilaatuisissa betonimurskeissa BeM I ja BeM II tapahtuu myös voimakasta lujittumista rakentamisen jälkeen. Lujittuminen nostaa erityisesti materiaalin kantavuutta. Betonimurskeluokkien BeM III ja BeM IV lujittuminen vaihtelee, koska niissä on heikompi puhtausaste. Lujittumisen edistämiseksi rakentamis- ja jälkihoitovaiheessa on huolehdittava betonimurskeen riittävästä kastelusta. Myös tiivistystyötä voidaan tehostaa ja nopeuttaa kas-teleamalla betonimursketta ennen tiivistämistä. BeM-luokat ja niiden materiaaliominaisuudet on esitetty taulukossa 3.2.

*Taulukko 3.2. Betonimurskeiden ominaisuuksia: Raaka-aineet (a), mitoitusparametreja ja vaatimuksia (b) sekä muita ominaisuuksia (c). (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015.)*

a)	BeM I	Epäpuhtauksista vapaa betonijäte, joka on peräisin esim. betoniteollisuudesta				
	BeM II	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte				
	BeM III	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, jonka uudelleenlujittuminen on epävarmaa				
	BeM IV	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, jonka uudelleenlujittuminen on epävarmaa				
b)	Luokka	Puristuslujuus [MPa]	Routivuus	E-moduuli [MPa]	Tiilen max. osuus [paino-%]	Muiden materiaalien max. osuus** [paino-%]
	BeM I	≥ 1,2	Routimaton	700	0	0,5
	BeM II	≥ 0,8	Routimaton	500	10	1
	BeM III	Epävarmaa	Routimaton	280 / 300***	10	1
	BeM IV	Vaihtelee	Vaihtelee	Vaihtelee	30	1
	*	harkittava tapauskohtaisesti				
	**	puu, muovi, yms. Tämän paino-% vaatimuksen lisäksi erityisen keveitä materiaaleja (esim. solumuovi- ja vuorivillateristeet) ei saa olla haitallisessa määrin.				
	***	Liikenneviraston ohje / Kuntaliiton ohje				
c)	Ominaisuus	BeM I, II, III	Yksikkö	Ominaisuus	BeM I, II, III	Yksikkö
	Optimivesipitoisuus, $w_{opt}$	8...12	%	Kapillaarisuus, $H_c$	0,2...0,25	m
	Maksimikuivatilavuuspaino	17,5...20,5	kN/m <sup>3</sup>	Vedenläpäisevyys, k	10 <sup>-4</sup> ... 10 <sup>-5</sup>	m/s
	Minimikuivatilavuuspaino	12,7...14,5	kN/m <sup>3</sup>	Happamuus, pH	11...12,5	-
	Kiintotiheys	2,55...2,65	t/m <sup>3</sup>	Kitkakulma	40	°

Meluvallissa ei vaadita betonimurskeelta lujittumisominaisuuksia, tiettyä raekokoa eikä kovin suurta kantavuutta. Näistä syistä meluvallissa voidaan käyttää laadultaan heikom-  
paa BeM-luokkaa tai luokittelematonta murskattua betonia. Kaikissa BeM-luokissa rae-  
kokovaatimus on  $\leq 150$  mm, mutta meluvallin suuren koon takia murskattu betoni voisi

olla raekooltaan reilusti isompaa, jos suurempi raekokoisen materiaalin käytölle saataisiin lupa.

Betoniteollisuudesta saatava betonimurske on yleensä korkean laatuluokan betonimurskettä. Tässä työssä esitettyyn meluvalliin käytetään pulveroitua purkubetonia, jota saadaan pääkaupunkiseudulla puretuista betonirakennuksista. Rakenteiden purkamisen jälkeen puretut betonirakenteet hajotetaan palasiksi käyttöön tarkoitetulla hydraulisella pulveroijalla (kuva 3.4). Pulveroinnin avulla saadaan maarakentamiseen soveltuvaa pulveroitua betonia, jota voidaan käyttää sellaisenaan tai tarvittaessa jalostaa eteenpäin BeM-luokitelluksi betonimurskeeksi. Yleisimpiä pulverointileukoja voidaan käyttää myös varsinaiseen rakennusten purkamiseen ja pulverointivaiheessa niillä voidaan erotella suurimmat teräskappaleet ja betoni toisistaan. Näin saadaan myös betonirakenteissa oleva teräsmateriaali uusiokäyttöön.



*Kuva 3.4. Purkubetonin pulverointia (Atlas Copco Oy).*

Ympäristönäkökulmasta ajateltuna murskatun betonin käyttö on hyödyllistä myös, koska sen käyttö poistaa ilmaston lämpenemisen kannalta haitallista hiilidioksidia ilmakehästä. Murskauksen jälkeen betonin reaktiivinen pinta-ala kasvaa ja betonimurskeen karbonisaatioreaktio edistää hiilidioksidin sitoutumista eli betonimurske toimii hiilidioksidinieluna. (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015.)

### 3.1.5 Rengaskevennykset

Meluvallin suunnittelussa on tutkittu myös kevennysmateriaalien käytön mahdollisuutta rakenteessa. Ehdotetuksi kevennysmateriaaliksi on valittu rengaskevennykset, jotka ovat edullisia meluvalliin soveltuvia uusiomateriaaleja. Rengaskevennyksien materiaali saadaan käytöstä poistetuista autonrenkaista, jotka voidaan käyttää kokonaisina, sitoa paa-leiksi tai leikata rengasrouheeksi (kuva 3.5) (Liikennevirasto 2011). Suomessa poistuu vuosittain käytöstä noin 50 000 tonnia auton renkaita, joista lähes kaikki hyödynnetään (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015). Materiaalihuoty käytön lisäksi rengasrouhetta voidaan myös esimerkiksi polttaa energialaitoksissa tai käyttää pinnoitteena (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015).

Rengasrouheen palakoko on keskimäärin 50...300 mm luokkaa. Rengasrouhe ei ole puhdasta rengaskumia, vaan sen seassa on mukana myös renkaan tukena olevia vahvisteita, kuten teräslankaa. Terävien teräslankojen takia rengasrouhetta on syytä käsitellä teloilla kulkevilla koneilla, jotta työkoneen renkaiden puhkeamisilta välttyttäisiin. Rengasrouhe tulee erottaa muista penkereen rakennusmateriaaleista geotekstiilillä, jotta materiaalikerrokset eivät sekoittuisi keskenään. Maanrakennuksessa renkaita ja rengasrouhetta on käytetty jo kymmeniä vuosia, joiden aikana tutkimuksissa ei ole havaittu, että materiaalista irtoaisi haitallisia aineita suotovesiin. (Söderström, Rinnepelto, ym. 2015.)



Kuva 3.5. Rengasrouhetta (Suomen Rengaskierrätys Oy 2015).

Kokonaiset kumirenkaat ja rengaspaalit soveltuvat hyvin esimerkiksi meluvalleihin, koska niihin ei kohdistu liikennekuormaa (Liikennevirasto 2011, InfraRYL 2010). Käytetyistä renkaista valmistettu rengasrouhe on ominaisuuksiltaan parempi materiaali ja sen sovellusmahdollisuudet rakentamiseen ovat laajempia. Taulukossa 3.3 on esitetty rengaskevennyksen teknisiä ominaisuuksia.

Kevyet materiaalit, kuten renkaat ja rengasrouhe ovat erityisen hyödyllisiä meluvallin huipulla. Rakenteen yläosassa olevat massat aiheuttavat kuormitusta kaikkiin alapuolisiin rakenteisiin, jolloin yläpuolisten massojen aikaan saamat kuormitukset ovat merkittävämpiä riskejä meluvallin sortumisen kannalta. Lisäksi meluvallin huipulla puristuskestävyys ja muut lujuusvaatimukset eivät ole niin tärkeitä, koska siellä yläpuoliset kuormat ovat pienempiä.

*Taulukko 3.3. Rengaskevennyksen teknisiä ominaisuuksia (InfraRYL 2010, Häkkinen 2005, SCC Viatek 2002, Mäkelä & Höynälä 2000, Liikennevirasto 2011).*

Ominaisuus	Rengasrouhe	Kokonaiset renkaat	Rengaspaalit
Nimellimitat	sivumitta esim. 50 mm 150 mm 300 mm	saatavilla erikokoisia renkaita	pit x lev x kork 1,5 × 1,4 × 0,75 m <sup>3</sup>
Tilavuuspaino – kuiva – märkä – veden alla	4...6 kN/m <sup>3</sup>	2...4 kN/m <sup>3</sup>	5,5 kN/m <sup>3</sup> 5,7 kN/m <sup>3</sup> 0,8 kN/m <sup>3</sup>
Tilavuuspainon ominaisarvo	5...6 kN/m <sup>3</sup> (10...40 kPa)*	2...4 kN/m <sup>3</sup> (10...20 kPa)*	
Koheesio	8...9 kPa		
Kitkakulma	~20...40°		
E-moduuli	0,5...3 MPa		
Vedenläpäisevyys	1 × 10 <sup>-3</sup> ...10 <sup>-1</sup> m/s	5 × 10 <sup>-2</sup> ... 10 <sup>-1</sup> m/s	1 × 10 <sup>-2</sup> ...10 <sup>-1</sup> m/s
Lämmönjohtavuus	0,1...0,25 W/mK	0,1...0,25 W/mK	

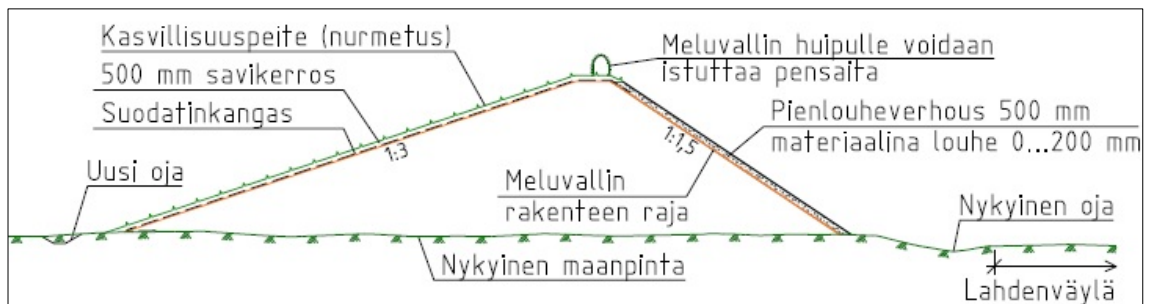
\* Rengaskevennyksen tilavuuspaino suluissa esitetyn kuorman alla (vaikuttaa rengaskevennyksen tilavuuspainoon)

### 3.2 Pintamateriaalit ja kasvillisuus

Tässä työssä tutkitun meluvallin poikkeuksellisen suuri korkeus asettaa haasteita myös vallin verhouksen suhteen. Vallin tienpuoleinen 1:1,5 kaltevuudessa oleva luiska on suunniteltu verhoiltavan pienlouheella. Korkeissa valleissa kasvillisuuden pysyminen luiskassa on epävarmaa ilman kasvillisuudelle suunniteltuja geovahvisteita. Lisäksi jyrkkien

luiskien kasvillisuuden hoitaminen on vaikeaa, erityisesti näin pitkissä luiskissa. Pienlouhe on edullinen, helppohoitoinen ja kestävä vaihtoehto luiskan verhoukseen.

Meluvallin loivempi asuinalueen puolinen 1:3 luiska verhoillaan kasvillisuudella. Kasvillisuus on edullinen ja yleisesti esteettisesti parhaana pidetty vaihtoehto vallien verhoiluun. Luiskan kasvillisuus torjuu myös tehokkaasti pinnan eroosiota (Tielaitos 1995). Lisäksi kasvillisuus auttaa meluntorjunnassa ääntä vaimentavana materiaalina. Esimerkiksi meluvallin huipulle istutettava pensasaita vähentäisi Lahdentieltä tulevia melu- ja pienhiukkashaittoja. Loivempaa melulta suojassa olevaa puolta voidaan myös hyödyntää virkistyskäytössä. Kuvassa 3.6 on esitetty luonnos vallin pintamateriaaleista ja verhoilusta.



Kuva 3.6. Meluvallin pintamateriaalit ja kasvillisuus.

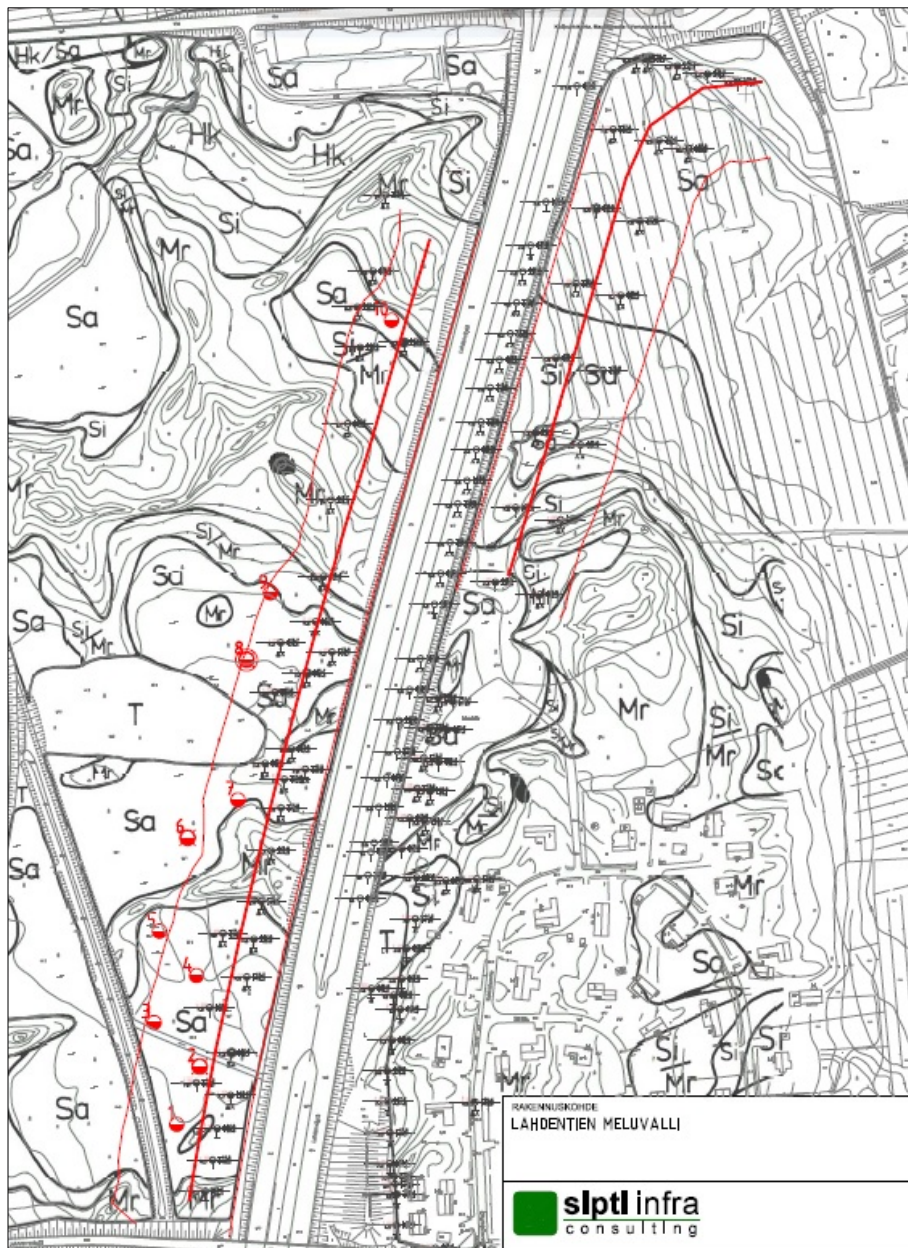
## 4 Suunnittelun lähtötiedot

### 4.1 Pohjatutkimukset

Alustavaa suunnittelua varten käytössä oli Vantaan Kaupungin toimittamia vanhoja pohjatutkimuksia. Näiden pohjalta laadittiin lisäpohjatutkimusohjelma tarkempaa suunnittelua varten. Vantaan kaupungin toimittamat pohjatutkimukset olivat VVJ-tasokoordinaattijärjestelmässä ja N43-korkeusjärjestelmässä, josta ne käännettiin uuteen ETRS-GK25 -koordinaattijärjestelmään ja N2000-korkeusjärjestelmään. Osa tutkimuksista oli Lahdentien rakentamisen yhteydessä tehtyjä pohjatutkimuksia. Nämä tutkimukset oli kopioitu tietokantaan vanhoista vuonna 1970 laadituista tielaitoksen piirustuksista, joten niiden paikkansapitävyyteen on suhtauduttava varauksella. Lahdentien vierestä otetut tutkimukset ovat uudempia, vuosina 2003-2014 tehtyjä tutkimuksia ja näistä sai luotettavaa tietoa suunnittelun vallin kohdalta.



Suunnitellun meluvallin savipitoisten alueiden kohdalta laadittiin lisäpohjatutkimusohjelma (kuva 4.1) Sipti Infra Oy:n toimesta elokuun 2015 alussa. Lisäpohjatutkimusohjelma sisälsi 10 pohjatutkimuspistettä suunnittelualueelta, joista jokaisesta oli suunniteltu tehtävän painokairaus. Lisäksi kolmesta tutkimuspisteestä oli suunniteltu tehtävän siipikairaus sekä yhdestä pisteestä häiriintynyt näytteenottosarja. Vantaan kaupunki teki pohjatutkimuskairaukset marraskuussa 2015. Pohjatutkimusohjelman mukaisia siipikairauksia ei tehty, koska kairajaan mukaan savi oli sen verran jäykkää, että niitä ei pystytty tekemään.



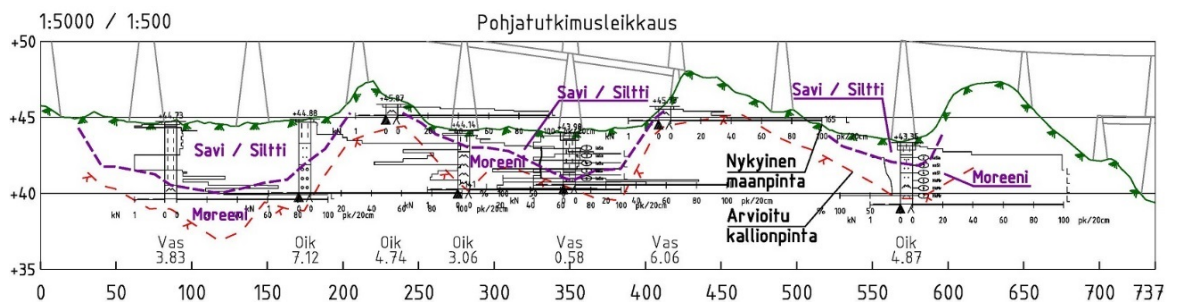
Kuva 4.1. Lisäpohjatutkimusohjelma.

Lisäksi alueelle tehtiin koekuoppa (kuva 4.2) Vantaan kaupungin toimesta 21.10.2015, jonka pääasiallinen tarkoitus oli saven kaivu stabiloitavuuskokeita varten. Lisäksi koekuopasta otettiin 1 m ja 2 m syvyyksiltä näytteet laboratoriokokeita varten. Koekuoppa kaivettiin hieman yli 2 m syväksi, jolloin saavutettiin tiivis maakerros.

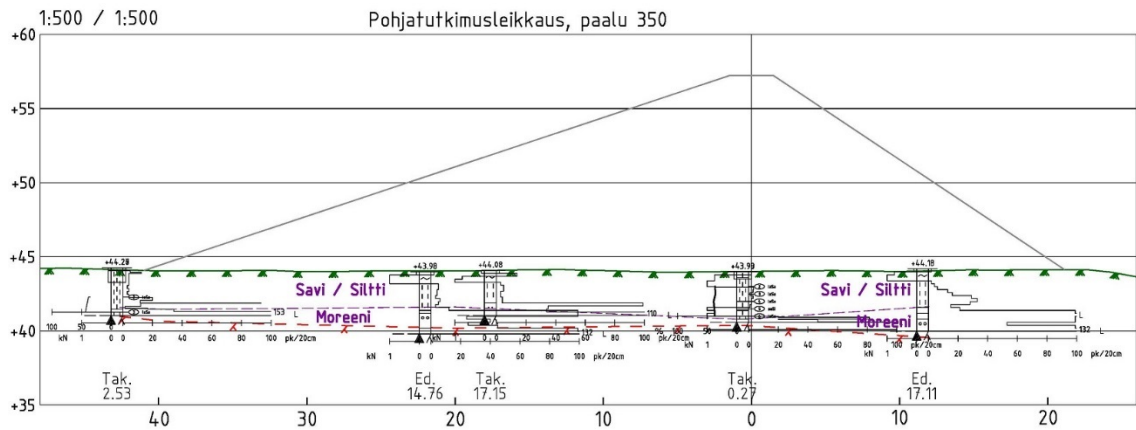


Kuva 4.2. Lisäpohjatutkimusohjelman pisteen 6 kohdalta tehty koekuoppa.

Pohjatutkimuksista tehtiin myös pohjatutkimusleikkauksia, joiden avulla pystyttiin kuvaamaan paremmin alueen maaperää. Vallin koko pituudelta tehty pohjatutkimusleikkaus on esitetty kuvassa 4.3. Leikkauksen pituudesta johtuen, kuva on skaalattu korkeussuunnassa kymmenkertaiseksi verrattuna pituussuuntaan. Lisäksi paalulukemalta 350 tehty pohjatutkimusleikkaus on esitetty kuvassa 4.4.



Kuva 4.3. Suunnitellun meluvallin koko pituudelta tehty pohjatutkimusleikkaus.



Kuva 4.4. Suunnitellun meluvallin paalulukemalta 350 tehty pohjatutkimusleikkaus.

Maaperäkartan ja pohjatutkimusten avulla pystyttiin kartoittamaan suunnitellun meluvallin alueelta pehmeät maakerrokset sekä niiden paksuudet. Koko suunnittelualueella on päällimmäisenä kerroksena 0,1...0,3 metriä paksu humuskerros. Pehmeitä savi- tai siltti-kerroksia meluvallin kohdalla on neljällä alueella. Pohjatutkimusten perusteella savikerros on paksuimmillaan paalulukeman 100 kohdalla, jossa sen paksuus on noin 4,5 metriä.

Ensimmäinen pehmeikköalue sijaitsee paalulukemilla 30...210, jossa pehmeän kerroksen paksuus on arviolta 0,5...4,5 metriä. Toinen alue sijaitsee paalulukemilla 250...400, jossa pehmeän kerroksen paksuus on 0,5...3,2 metriä. Kolmannen alueen pehmeän kerroksen paksuus on 0,5...1,8 metriä ja alue sijaitsee paalulukemilla 520...590. Suunnitellun meluvallin pohjoispäädyssä on neljäs savialue paalulukemalta 720 eteenpäin, jonka kohdalta ei ole tehty pohjatutkimuksia. Pehmeiden kerrosten alla on 0,5...3,0 metriä paksu moreenikerros, jonka alapuolella on arvioitu kallionpinta. Suunnittelualueella kallionpintaa ei ole varmistettu porakonekairauksilla. Kallionpinta on arvioitu painokairausten sekä lähellä olevalta Lahdentieltä tehtyjen vanhojen porakonekairausten perusteella.

## 4.2 Stabiloidun saven laskentaparametrien määrittäminen

### 4.2.1 Stabilointikokeet

Lentotuhkalla stabiloidun saven lujuuden arvioimiseksi tehtiin stabilointikokeita. Stabilointikokeita varten 21.10.2015 alueelta otettiin noin 30 litraa savinäytteitä, jotka kerättiin viiteen ämpäriin. Kaikki stabilointikokeita varten otetut savinäytteet kaivettiin samasta koekuopasta (kuva 4.2). Savinäytteiden oton suoritti Tapio Strandberg Oy yhdessä Vantaan kaupungin kanssa. Näytteitä otettiin yhden, puolentoista ja kahden metrin syvyyksistä. Näytteenottosijainti valikoitiin alueelta, jossa savi oli heikointa pohjatutkimusten perusteella. Silmämääräisesti ja käsin tunnustelemalla savi vaikutti olevan jäykkää, siltistä ja melko kuivaa. Kuvassa 4.5 on esitetty suunnittelualueelle kaivetusta koekuopasta ämpäriin kerättyä savea.



Kuva 4.5. Stabiloitavuuskoetta varten kerätty savinäyte Leppäkorvesta (Wigren & Gunnelius 2015).

Meluvallin suunnittelualueelta otetun saven soveltuvuutta stabiloitavaksi täyttömateriaaliksi epäiltiin, koska savi oli kuivaa ja jäykkää. Näistä ominaisuuksista johtuen stabilointiaineen tasainen sekoittuminen ja stabilointiaineiden lujittuminen voi olla haasteellista. Sääolosuhteet näytteiden ottoaikana ja sitä ennen olivat tavanomaista kuivempia. Koska kaivetun saven soveltuvuutta stabiloitavaksi epäiltiin, päätettiin hakea stabilointikokeita

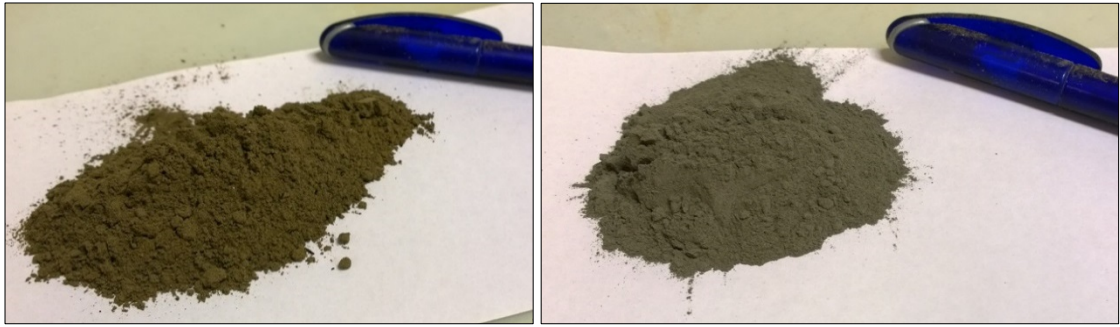
varten myös pehmeämpää savimassaa muualta. Vantaan kaupungilta saatiin tieto, että tyypillistä Vantaalta kaivettua läjitettävää savea voi hakea Pitkäsuon läjitysaltaalta. Stabiloitavuuskokeita varten Tapio Strandberg Oy:n edustaja haki kolme ämpärillistä kokoomänäytettä pehmeästä savesta Pitkäsuon läjitysaltaalta.

Stabiloitavuuskokeiden tarkoitus oli selvittää, millä sideainesekoituksella ja sideainemäärällä saadaan riittävät lujuusominaisuudet stabiloitaville saville. Stabiloitavuusnäytteille oli määritelty tehtävän kokeita 7, 14, 28 sekä 90 päivän lujittumisajan jälkeen. Stabiloitukokeita varten Renotech Oy:n laboratorioon toimitettiin 13.11.2015 ämpäreissä savea, liejua sekä kahden energialaitoksen lentotuhkaa. Renotech Oy:lle toimitetut näytteet on esitetty taulukossa 4.1.

*Taulukko 4.1. Renotech Oy:lle toimitetut näytteet (Wigren & Gunnelius 2015).*

<b>Näyte</b>	<b>Määrä</b>	<b>Näytteenottopäivä</b>	<b>Saapunut</b>
Leppäkorven savi	3 ämpäriä	21.10.2015	10.11.2015
Pitkäsuon liejualtaan savi	3 ämpäriä	5.11.2015	10.11.2015
Keravan energian lentotuhka	3 ämpäriä	22.10.2015	10.11.2015
Vantaan energian lentotuhka	3 ämpäriä	22.10.2015	10.11.2015

Laboratoriotestejä varten tehtiin erilaisia sideaineseoksia lentotuhkasta sekä sementtikalkkiseoksesta. Keravan energian lentotuhka on lähtöisin Keravan biovoimalaitoksesta, jonka pääpolttoaineina ovat puhtaat puuperäiset polttoaineet sekä jyrshinturvet. Käytettyjä puuperäisiä polttoaineita ovat esimerkiksi oksat, risut, latvukset, kannot, sahanpuru ja pienpuut. Vantaan lentotuhka on peräisin Martinlaaksossa sijaitsevasta Martinlaakso 2 – lämpövoimalaitoksesta, jonka toiminta perustuu hiilen pölypolttoon. Martinlaakso 2 käyttää polttoaineina kivihiiltä ja maakaasua, joiden palamisprosessista saadaan sivutuotteenä lentotuhkaa.



Kuva 4.6. Keravan energian (vasemmalla) ja Vantaan energian (oikealla) lentotuhkaa (Wigren & Gunnelius 2015).

Lentotuhkien sideaineseoksissa käytettiin seossuhteena 75 % tuhkaa ja 25 % sementtiä. Stabilointikokeissa sideaineseoksien määrinä käytettiin 10 % ja 15 % pitoisuuksia molemmille tuhka-sementti –seoksille. Lentotuhkien avulla stabiloituja koekappaleita verrailtiin referenssimassoihin, jotka on stabiloitu puhtaalla sementti-kalkkiseoksella. Referenssimassojen pitoisuudet olivat 5 % ja 8 % kalkkisementtiseosta. Näin saatiin yhteensä kuusi erilaista lujittumista seuraavaa stabilointikoetta molemmille savinäytteille (taulukko 4.2). (Wigren & Gunnelius 2015.)

Taulukko 4.2. Sideaineseokset ja määrät (Wigren & Gunnelius 2015).

Sideainemäärä ja nimi	Sideaineen koostumus	Seossuhde	Savinäyte
5% Kalkkisementti	PlusSementti : Ca(OH) <sup>2</sup>	1:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo
8% Kalkkisementti	PlusSementti : Ca(OH) <sup>2</sup>	1:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo
10% Keravan tuhka	Kerava : PlusSementti	3:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo
15% Keravan tuhka	Kerava : PlusSementti	3:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo
10% Vantaan tuhka	Vantaa : PlusSementti	3:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo
15% Vantaan tuhka	Vantaa : PlusSementti	3:1	Leppäkorpi/Pitkäsuo

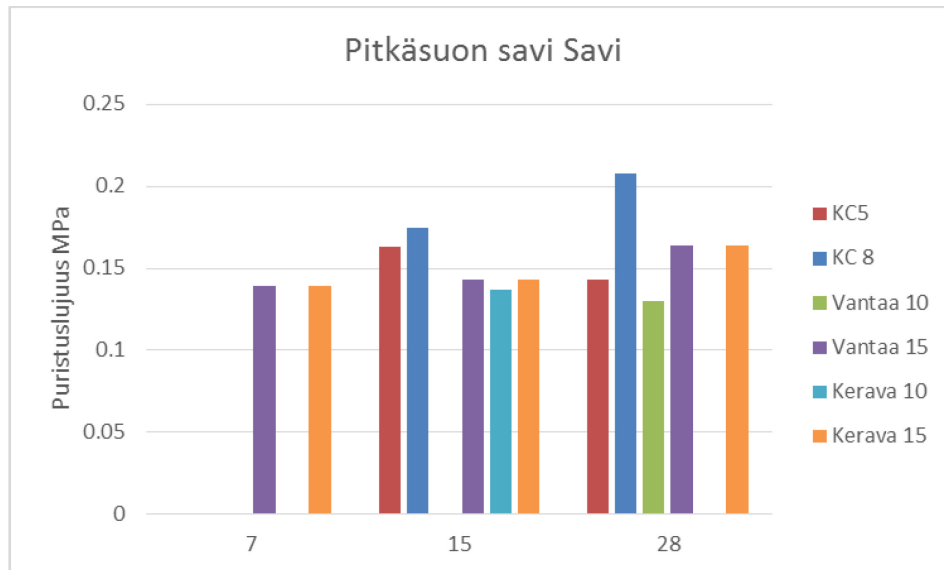
Näytteiden ominaisuuksien kehittymistä mitattiin erilaisilla menetelmillä. Ennen savinäytteiden stabilointia, määritettiin haihduttamalla savien vesipitoisuudet. Pitkäsuo- savi- näytteen vesipitoisuudeksi saatiin 50 % ja Leppäkorven savinäytteen vesipitoisuudeksi saatiin 18 %. Sideaineominaisuuksia arvioitiin lämmönkehityksen avulla. Stabiloidussa koekappaleessa tapahtuvalla lämmön lisääntymisellä pystyttiin arvioimaan sideaineen aktiivisuutta. (Wigren & Gunnelius 2015.)

---

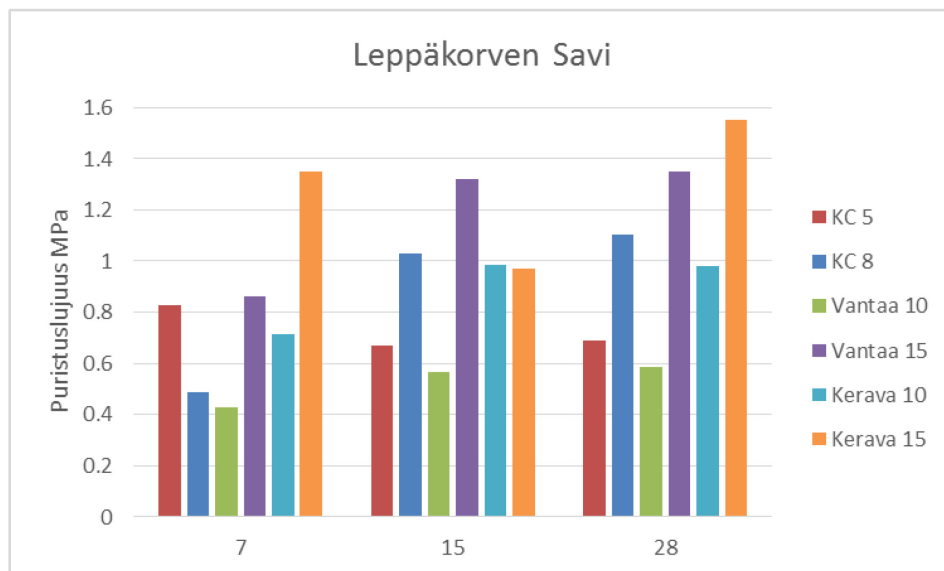
Stabilointinäytteiden tiivistettävyyttä testattiin IC-testerillä (Intensive Compaction tester) eli kiertotiivistäjällä. Koneella puristetaan näytekappaletta samalla, kun näytettä pyöritetään pienessä kulmassa suhteessa puristusvoimaan. Noin 70 mm halkaisijalta olevaan lieeriöön asetettiin näytettä, jota puristettiin 80 kPa:n paineella 80 kierrosta. Tiivistyskokeella näytteistä saatiin tehtyä kiinteät kappaleet, joiden massa punnittiin. Tämän jälkeen näytteet suljettiin muovipusseihin, joissa niitä säilytettiin 100 % kosteudessa ja 10...15 °C lämpötilassa. Tiivistetyistä koekappaleista mitattiin 1-aksiaaliset puristuslujuudet Matest E183N laitteella. Puristuslujuuden mittausta varten koekappaleiden päät tasoitettiin kipsivalulla. Vuoden 2015 lopussa tehdyn koeraportin alustavassa versiossa kappaleiden puristuslujuudet oli mitattu 7, 14 ja 28 päivän kuluttua kappaleiden valmistuksesta. (Wigren & Gunnelius 2015.)

Pitkäsuon liejualtaan saven koekappaleiden puristuslujuudet on esitetty kuvassa 4.7. Tuloksien perusteella Pitkäsuon liejualtaan savi ei soveltunut koekappaleiden valmistukseen. Osa Pitkäsuon liejualtaan savesta tehdyistä koekappaleista ei saavuttanut käytetyllä menetelmällä mitattavissa olevaa puristuslujuutta. Alin mitattu puristuslujuus oli 0,13 MPa, jolloin mittaamatta jääneiden koekappaleiden puristuslujuus oli alle tämän arvon. Pitkäsuon liejualtaan saven koekappaleista korkein mitattu puristuslujuus oli hieman yli 0,2 MPa. (Wigren & Gunnelius 2015.)

Leppäkorven savella tehdyt näytteet tuottivat huomattavasti parempia tuloksia, jotka on esitetty kuvassa 4.8. Kaikki Leppäkorven savella tehdyt koekappaleet pystyttiin mittaamaan. Koetulosten perusteella kaikki lentotuhkaa käyttävät sideaineseokset pärjäsivät hyvin verrattuna kalkki-sementti sideaineeseen. Keravan energian lentotuhka oli koetulosten perusteella tehokkaampaa, kuin Vantaan energian lentotuhka. Käytetyt sideainemäärät ovat jopa hieman ylimitoitettuja halutun puristuslujuuden saavuttamiseksi käytettäessä Leppäkorven savea. (Wigren & Gunnelius 2015.)



Kuva 4.7. Pitkäsuon liejualtaan savi, 1-akiaalinen puristuslujuus koekappaleille 7, 15 ja 28 päivän ikäisinä (Wigren & Gunnelius 2015).



Kuva 4.8. Leppäkorven savi, 1-akiaalinen puristuslujuus koekappaleille 7, 15 ja 28 päivän ikäisinä (Wigren & Gunnelius 2015).

Koetulosten perusteella Pitkäsuon liejualtaan savi on liian heikkolaatuista stabiloitavaksi testatuilla sideainemäärillä. Pitkäsuon liejualtaan saven seassa oli myös karkeaa soraa, joka haittaa massastabilointityötä. Leppäkorvesta kaivettu saven stabilointitulokset tuottivat hyviä tuloksia. Leppäkorven saven massastabiloinnissa sideainemäärää voitaisiin pienentää erityisesti Keravan energian lentotuhkaa käytettäessä. Leppäkorven savi saattaa olla kuitenkin liian jäykkää työstettävää massastabilointikoneille. Lisäksi jäykälle savelle



löytyy muita hyödyllisiä käyttökohteita meluvallin rakentamisessa, kuten asuinalueen puoleisen luiskan pintakerros.

#### 4.2.2 Leikkauslujuuden määrittäminen puristuskokeen tuloksista

Massastabilointinäytteiden yksiakselinen puristuslujuus  $q_u$  määritettiin Renotech Oy:n laboratoriossa yksiakselisella puristuskokeella. Kokeessa koekappaletta puristetaan pystysuunnassa kappaleen murtumiseen asti, joten koekappaleeseen vaikuttaa vain pystyakselin suuntainen pääjännitys  $\sigma_1$ . Yksiakselisessa puristuskokeessa vaakasuuntaisia pääjännityksiä ei ole, joten  $\sigma_2 = 0$  ja  $\sigma_3 = 0$ .

Mohr-Coulombin murtoehdon mukaan murtohetkellä koekappaleen leikkauslujuus on yhtä suuri kuin kappaleen murtopinnassa oleva jännitys. Murtopinnan jännitystila voidaan ilmaista normaalijännityksen (4.1) ja leikkausjännityksen (4.2) avulla. (Rantamäki ym. 1999.)

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha \quad (4.1)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha \quad (4.2)$$

Vaakasuuntaisen jännityksen  $\sigma_3$  ollessa 0, murtopinnan jännitystila yksinkertaistuu kaavoiksi 4.3 ja 4.4 (Rantamäki ym. 1999).

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{2} + \frac{\sigma_1}{2} \cos 2\alpha \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha \quad (4.4)$$

Coulombin kaavalla (4.3) koekappaleelle saadaan leikkauslujuus tehokkaita parametreja käyttäen (Rantamäki ym. 1999):

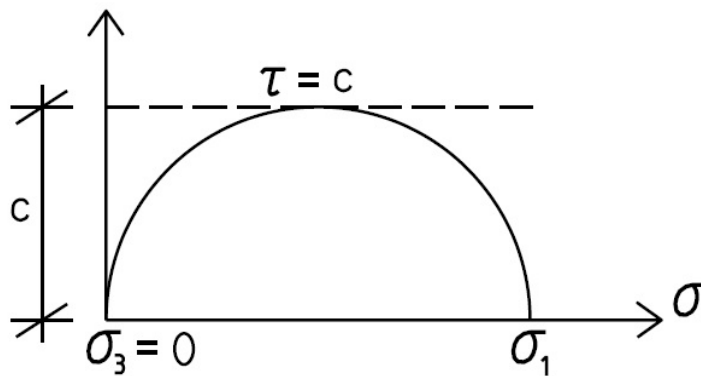
$$\tau_f = c' + \sigma' * \tan \phi' \quad (4.5)$$

$\tau_f$	on	leikkauslujuus [kN/m <sup>2</sup> ]
$c'$		tehokas koheesio [kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma'$		tehokas normaalijännitys [kN/m <sup>2</sup> ]
$\phi'$		tehokas kitkakulma [°]

Puhtaalla koheesiomaalla leikkauslujuus muodostuu ainoastaan koheesiosta, eli maan kitkakulma  $\phi'$  on nolla. Leikkauslujuus on siis vakio, joka ei riipu murtopinnassa vallitsevasta jännitystilasta (Rantamäki ym. 1999):

$$\tau_f = c'$$

Näin ollen jännitysypyrä ja leikkauslujuuden kuvaaja ovat kuvan 4.9 mukainen.



Kuva 4.9. Mohrin jännitysypyrä yksiakselisessa puristuskokeessa.

Kuvan 4.9 perusteella voidaan todeta, että jännitysypyrän halkaisija vastaa puristusjännitystä  $\sigma_1$  ja jännitysypyrän säde leikkauslujuutta  $\tau$ . Sama tulos saadaan, kun murtopinnan kaltevuuskulman kaavaan 4.6 sijoitetaan kitkakulma  $\phi' = 0$  sekä saatu murtopinnan kaltevuuskulma  $\alpha$  sijoitetaan jännitystilän kaavoihin 4.3 ja 4.4 (Rantamäki ym. 1999):

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\phi'}{2} \quad (4.6)$$

$$\Rightarrow \alpha = 45^\circ, \text{ kun } (\phi' = 0)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{2} + \frac{\sigma_1}{2} \cos(2 * 45^\circ)$$

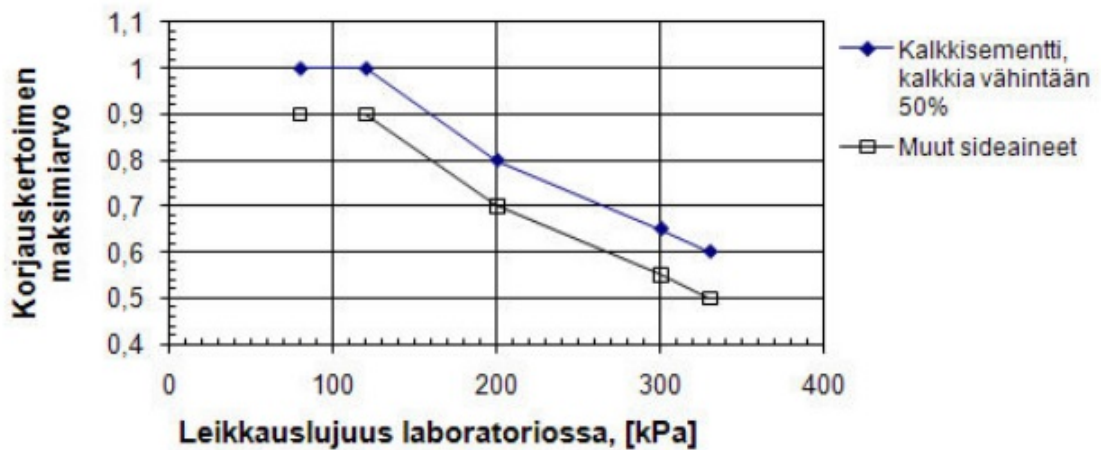
$$\begin{aligned} &= \frac{\sigma_1}{2} \\ \tau &= \frac{\sigma_1}{2} \sin(2 * 45^\circ) \\ &= \frac{\sigma_1}{2} \end{aligned}$$

Murtotilanteessa koekappaleen leikkauslujuus vastaa murtopinnassa vallitseva leikkausjännitystä  $\tau_f = \tau$  ja puristuslujuus  $q_u$  vastaa murtopinnassa vallitsevaa puristusjännitystä  $q_u = \sigma_1$ . Näin ollen puristuskokeella määritetty leikkauslujuus  $s_p$  voidaan laskea kaavalla 4.7, eli koekappaleen leikkauslujuus on puolet puristusjännityksestä. (Rantamäki ym. 1999.)

$$\begin{aligned} s_p &= \frac{q_u}{2} \\ &= \frac{\sigma_1}{2} \end{aligned} \tag{4.7}$$

### 4.2.3 Laboratoriotulosten korjauskertoimen määrittäminen

Liikenneviraston (2010a) syvästabiloinnin suunnitteluohjeissa on annettu pilaristabiloinnin laboratoriolujuuden korjauskertoimelle ohje. Ohjeen mukaan laboratoriolujuutta voidaan käyttää mitoituslujuutena, kun pilarien leikkauslujuustavoite on alle 120 kPa, sideaineena käytetään kalkkisementtiä ja sideainemäärää lisätään 10 % laboratoriossa käytetystä. Muissa tapauksissa pilaristabiloinnissa noudatetaan kuvan 4.10 korjauskertoimen maksimiarvoa. Nämä ohjeet eivät kuitenkaan ulotu tyypilliselle massastabiloinnin lujuusalueelle, joka on alle 100 kPa eikä vastaavaa ohjetta ei ole tehty massastabiloinnille. (Liikennevirasto 2010a, Forsman ym. 2014.)



Kuva 4.10. Laboratoriolujuuden korjauskertoimen maksimiarvo pilaristabiloinnille (Liikennevirasto 2010a).

Massastabiloinnin leikkauslujuuden korjauskerrointa määritettäessä voidaan kuitenkin soveltaa Liikenneviraston (2010a) syvästabiloinnin suunnitteluohjetta sekä aikaisempien massastabilointikohteiden näytteenottotuloksia. Korjauskertoimen suuruuden valinnassa on otettava huomioon sideaineen laatu ja määrä, sideainekomponenttien homogeenisuus, runkoaineen tyyppi ja stabilointiolosuhteet (Forsman ym. 2014). Koska tässä kohteessa käytetään kalkkisementin sijaan laadultaan vaihtelevaa ja lujittumisominaisuuksiltaan epämääräisempää tuhkaa, työssä on valittu konservatiivisesti leikkauslujuuden korjauskertoimen arvoksi 0,5. Tavoitteellinen kentällä saatava leikkauslujuus on 50 kPa sekä puristuslujuuden ja leikkauslujuuden suhde on 2:1, joten stabilointikokeissa tavoitteellinen puristuslujuus on 200 kPa eli 0,2 MPa.

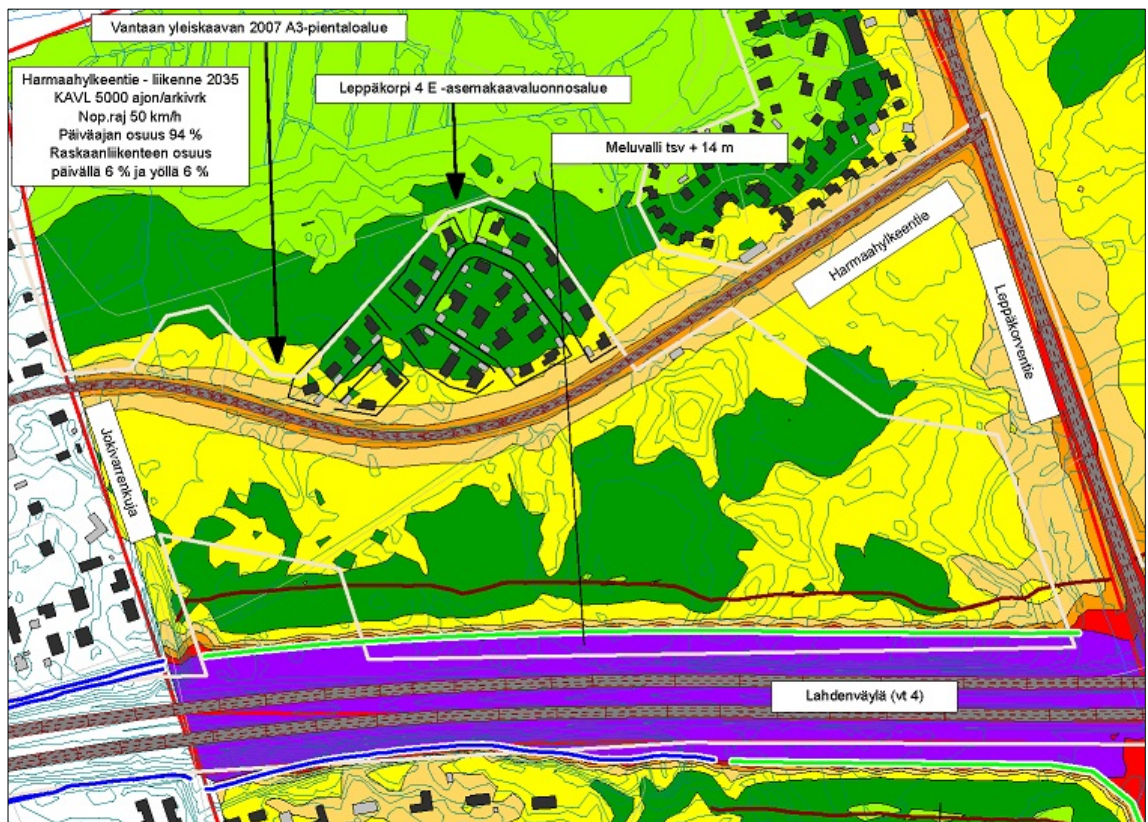
### 4.3 Melumallinnus

Meluvallin pengerkorkeuden määrittämistä varten lähtötietona oli käytettävissä SITO Oy:n 26.6.2015 laatima meluselvitys liitteineen. Melulaskenta perustui 3D-maastomalliin, johon oli maastonmuodon lisäksi mallinnettu melunlähteet, rakennukset ja alustava meluvalli sekä näiden akustiset ominaisuudet. Melulaskennassa laskettiin melun leviämistä liikennemelulähteiden perusteella. Laskenta suoritettiin DataKustik CadnaA 4.5 -melulaskentaohjelmalla. (Sito Oy 2015.)

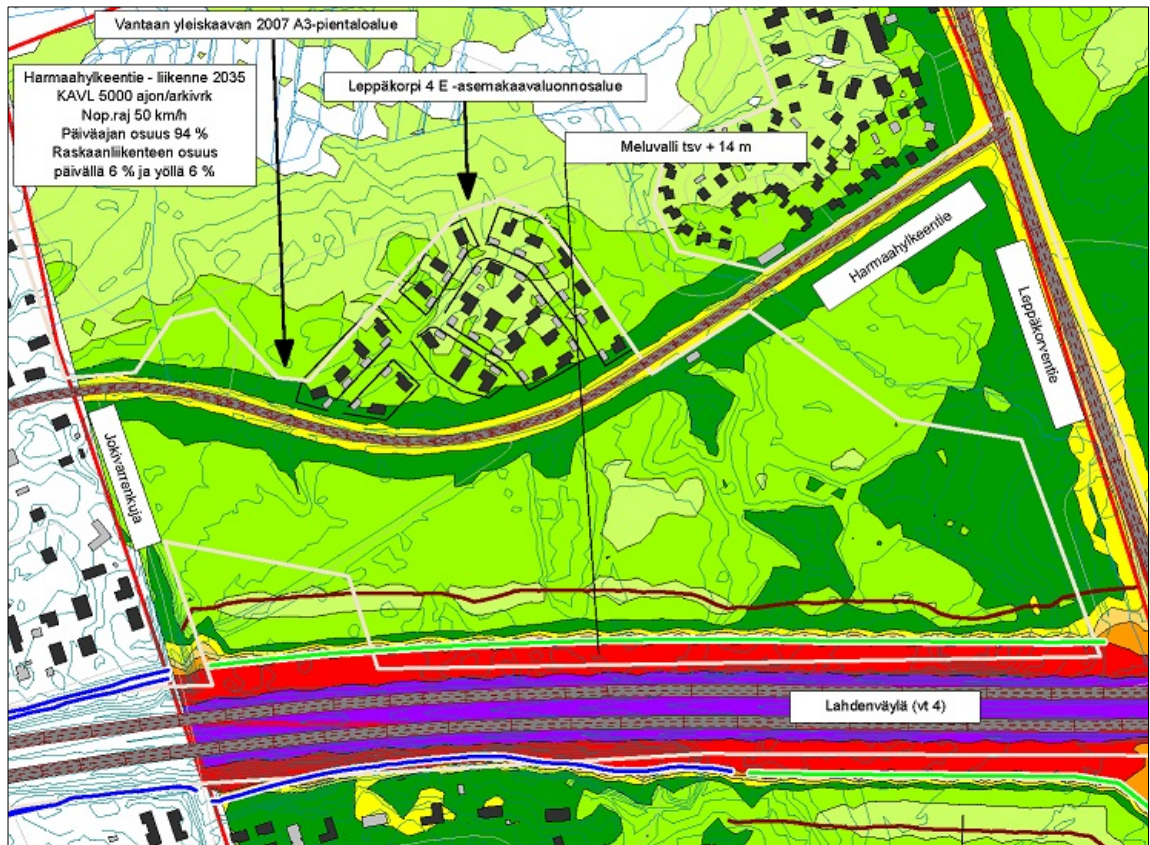
Meluselvityksessä alueen pääasiallinen melunlähde on Lahdenväylä. Meluselvityksessä tutkittiin keskimääräisten arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL) perusteella melumal-

linnut nykytilanteelle 2015 ja vuoden 2035 ennusteelle. Lahdenväylän keskimääräinen arkivuorokausiliikennemäärä on nykytilanteessa 42500 ajoneuvoa vuorokaudessa ja vuoden 2035 ennusteessa 72000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Selvityksessä mallinnettiin äänenvaimennuksen vaikutusta molemmissa tilanteissa 10, 14 ja 20 metrin korkuisille valleille. (Sito Oy 2015.) Kuvissa 4.11 ja 4.12 on esitetty 14 m korkuisille valleille Sito Oy:n tekemät tulosteet melumallinnuksesta vuoden 2035 päivä- ja yöaikaliikenteen ennusteille.

Meluvallin pohjoispäädyn ja Leppäkorventien väliin jää aukko, koska nykyinen Metso-lansuonoja halutaan säilyttää paikallaan. Melumallinnuksessa vallin luiskan reuna on muutamia metrejä pohjoisempänä, mutta tällä on hyvin vähäisiä vaikutuksia melulaskentatulokseen, koska melu vuotaa Leppäkorventien ja Lahdenväylän risteyskohdasta joka tapauksessa. Tässä risteyskohdassa meluntorjuntaa tehostetaan rampille rakennettavilla meluseinillä tai -kaiteilla.



Kuva 4.11. Maantie- ja katuliikenteen aiheuttama melun leviäminen vuoden 2035 päivä-ajan liikenne-ennusteella ja 14 m korkealla meluvallilla (Sito Oy 2015).



Kuva 4.12. Maantie- ja katuliikenteen aiheuttama melun leviäminen vuoden 2035 yöajan liikenne-ennusteella ja 14 m korkealla meluvallilla (Sito Oy 2015).

### Selitteet

Rakennukset	keskiäänitaso (laskentakorkeus: 2 m)
Asuinrakennus	> 40 dB
Liikerakennus	> 45 dB
Lomarakennus	> 50 dB
Teollinen rakennus	> 55 dB
Kirkollinen rakennus	> 60 dB
Muurakennus	> 65 dB
<b>Meluntorjunta</b>	> 75 dB
suunniteltu meluvalli	
meluvallin penkereen reuna	
nykyinen meluntorjunta	

Kuva 4.13. Melumallinnustulosteiden (kuvat 4.11 ja 4.12) selitteet (Sito Oy 2015).

---

#### **4.4 Laserkeilausaineisto**

Alueelta oli käytettävissä Vantaan kaupungin vuonna 2012 tekemä laserkeilausaineisto ETRS-GK25-koordinaattijärjestelmässä ja N2000-korkeusjärjestelmässä. Aineisto saatiin pistedatana tekstitiedostona. Saadun aineiston pistetiheys on noin 4 pistettä/m<sup>2</sup>. Laserkeilausdatan korkeustarkkuus kovilla pinnoilla esim. asfaltilla oli Vantaan kaupungin (2013) mukaan +/- 50 mm.

Vantaan kaupungin toimittamasta laserkeilausaineistosta tehtiin maanpintamalli ja sen paikkansapitävyyttä arvioitiin pohjatutkimuskairausten yhteydessä mitattujen maanpinnan korkojen avulla. Maanpintamallista tehtiin myös harvennettu versio suunnittelutyön nopeuttamiseksi. Pintojen mallinnus tehtiin Bentley MicroStation V8i -ohjelmalla ja sen lisäosana toimivalla TerraModeler-sovelluksella.

#### **4.5 Muut lähtötiedot**

Vantaan kaupungilta tilattiin asemakaava, kiinteistörajat, pohjakartta sekä johtokartat dgn-tiedostoina suunnitelmapiirustusten laadintaa varten. Lisäksi lähtötietoina oli käytettävissä Vantaan yleiskaava vuodelta 2007, Leppäkorpi 4 E -asemakaavaluonnos sekä Vantaan karttapalvelun (<http://kartta.vantaa.fi>) kartat.

### **5 Meluvallin suunnittelu**

#### **5.1 Meluvallin korkeuden määrittäminen**

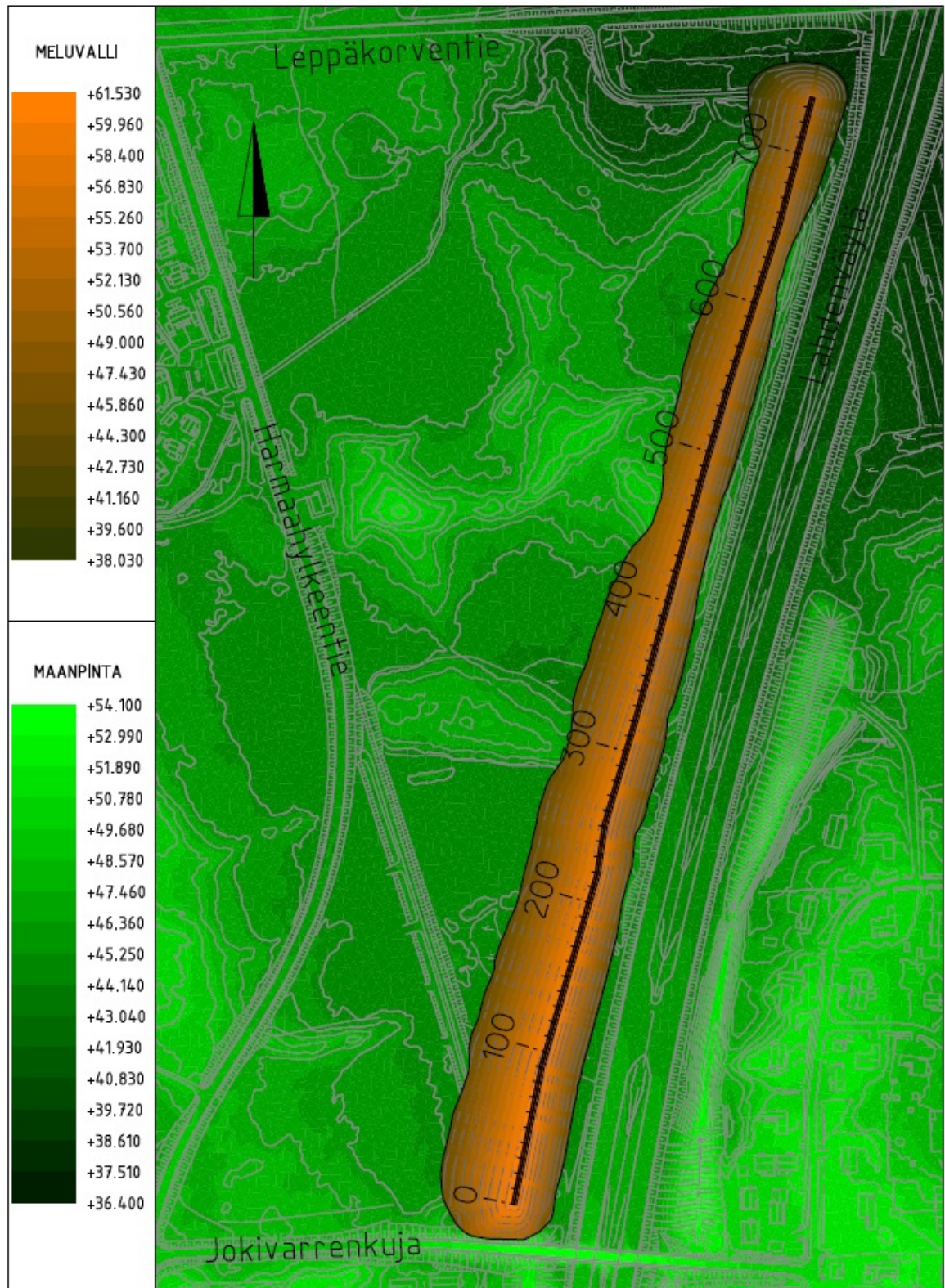
Lahdentien viereen mallinnettiin alustavasti valli. Vallin korkeuden suunnittelun lähtökohdaksi käytettiin Sito Oy:n vuonna 2015 tekemää melumallinnusta. Melumallinnuksen tuloksien sekä suunnittelukokouksissa käytyjen keskusteluiden perusteella päädyttiin käyttämään vallikorkeutena 14 metriä tien tasauksesta ylöspäin. Meluvallin korkeuden valinnan tärkeimmät kriteerit olivat vaimennuskyvyn ja tarvittavan tilan optimointi. Sito Oy:n meluselvityksen mukaan 20 m korkuisen meluvallin tuoma melutason alenema verrattuna 14 m meluvalliin oli pääosin 0...2 dB suuruinen, joten kuuden metrin korkeuden lisäystä ei pidetty järkevänä vaihtoehtona.

---

Meluvallin huipun korko noudattelee tien tasausta, koska huipun koron määrittelee melulähteen korkeus, eli tässä tilanteessa Lahdenväylän tasaus. Meluvallin korkeus maanpinnasta mitattuna kuitenkin vaihtelee, koska maanpinnan korkeus suunnitellun meluvallin keskilinjan kohdalla on epätasaisempi kuin tien kohdalla. Maanpinnasta mitattuna suunniteltu meluvalli on korkeimmillaan alueen eteläpäädyssä ja matalimmillaan suunnittelualueen keskikohdalla. Suunnitellun meluvallin korkeus vaihtelee 6,3...16,2 metrin välillä meluvallin keskilinjalta, maanpinnan korkeudelta mitattuna. Mallinnettu Lahdentien meluvalli ja maanpinta on esitetty kuvassa 5.1.

Meluntorjunnan suunnittelussa melutasojen raja-arvoina on käytetty Valtioneuvoston päätöksen (VNp 993/1992) mukaisia ohjearvoja. Melutason ohjeellinen enimmäisarvo uusille asuinalueille päiväsaikaan on 55 dB ja yöaikaan 45 dB. Melumallinnuksen perusteella pelkällä 14 m korkealla meluvallilla päästään tavoitteelliseen äänenvoimakkuuden vaimentamiseen vain hyvin pienellä alueella, kun käytetään vuoden 2035 mukaisia liikennemääriä. Erityisesti suunnitellun asuinalueen pohjoispuolella, lähellä Leppäkorventietä melutasot ylittyvät reilusti. Melun vaikutusta voidaan vähentää alueen ja rakennusten suunnittelussa. Esimerkiksi kaavoituksessa voidaan ottaa huomioon makuuhuoneiden sijoitus rakennuksessa ja alueen kasvillisuudella voidaan myös tehostaa meluntorjuntaa. Lisäksi asuinrakennusten ikkunoissa ja seinissä voidaan käyttää melua tavanomaista paremmin torjuvia materiaaleja.





Kuva 5.1. Lahdentien meluvallin ja maanpinnan korkeusmalli.

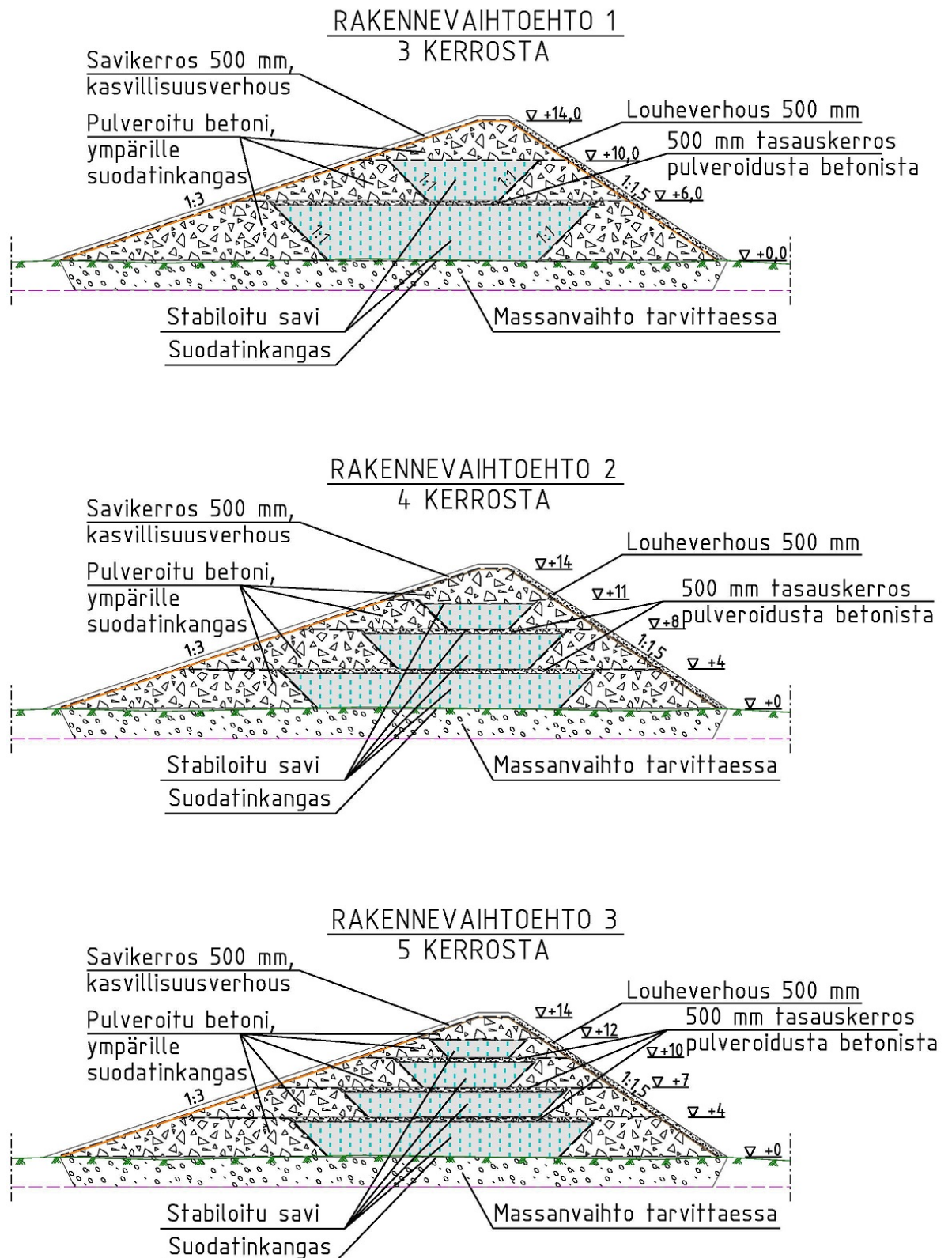
---

## 5.2 Poikkileikkauksen suunnittelu

Lahdenväylän puoleinen luiska suunniteltiin kaltevuuteen 1:1,5 noudattaen Liikenneviraston (2015) ohjeita melusteiden suunnitteluun. Asuinalueen puoleinen luiska suunniteltiin loivemmaksi kaltevuuteen 1:3, jotta se sopisi paremmin ympäristöön ja sen kunnossapito olisi helpompaa. Liikenneviraston (2015) mukaan 1:3 kaltevuutta jyrkempien luiskien niittäminen vaatii erityiskalustoa, mikä lisäisi kunnossapidon kustannuksia.

Laskentapoikkileikkauksia varten mallinnettiin maakerrosrajat suunnitellun meluvallin alueelle pohjatutkimusten avulla. Mallinnetusta vallista tehtiin poikkileikkauksia Bentley MicroStation V8i-suunnitteluohjelmalla käyttäen Terrasolidin tuottamia MicroStation-apuohjelmia TerraModeler, TerraRoad ja TerraBore. Poikkileikkausten avulla valittiin silmämääräisesti rakenteellisesti heikoin kohta. Kohdan määrittäminen oli tässä tapauksessa helppoa, koska vallin korkeus maanpinnasta oli suurimmillaan alueella, missä oli myös heikoin maapohja. Lähtötiedoista vallin tavoitekorkeus maanpinnasta ja pohjamaan kantavuus ovat tärkeimpiä asioita stabiliteetin laskemisen kannalta. Poikkileikkauksesta tehtiin GeoCalc 3.0 -ohjelmalla alustavat laskennat liukupintamenetelmällä, joiden perusteella päädyttiin vahvistamaan maapohjaa massanvaihdoilla.

Poikkileikkausta tutkittiin erilaisilla rakennevaihtoehdoilla. Kaikissa rakenteissa meluvallin ulkomitat pysyivät samana, mutta sisäisessä rakenteessa ja meluvallin huipun materiaalissa oli muutoksia. Rakennevaihtoehtojen välillä suurin ero oli, kuinka useassa kerroksessa meluvalli rakennetaan. Tutkitut rakennevaihtoehdot (kuva 5.2) olivat kolmessa, neljässä sekä viidessä kerroksessa rakennettava meluvalli. Näitä kolmea rakennevaihtoehtoa tutkittiin alustavilla stabiliteettilaskelmilla. GeoCalc 3.0 -ohjelmalla tehdyt alustavat stabiliteettilaskelmat rakennevaihtoehdoille on esitetty kohdassa 6.3.



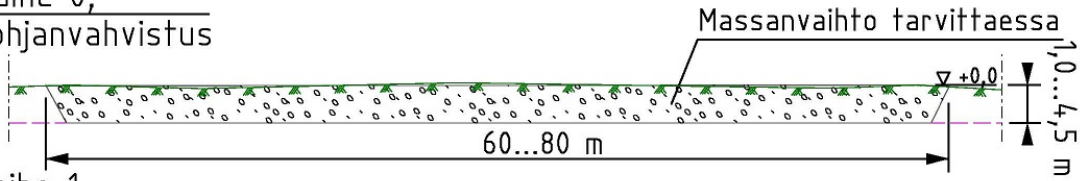
Kuva 5.2. Meluvallin poikkileikkauksen rakenteen vaihtoehdot.

---

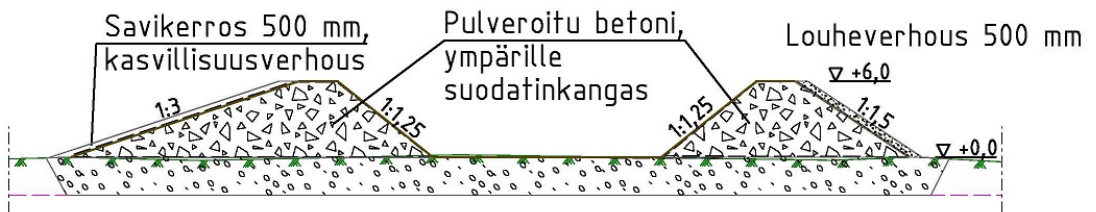
Rakenteista tarkempaan tutkintaan valittiin rakennevaihtoehto 1, jossa on kolme kerrosta. Rakenne on vaihtoehdoista yksinkertaisin, joten se on myös helpoin ja kustannuksiltaan halvin vaihtoehto toteuttaa. Rakenteessa on kaksi stabiloidulla savella täytettävää allaskerrosta sekä kolmas kerros, joka muodostaa vallin huipun. Vallin huipun rakenteena on alustavasti käytetty pulveroitua betonia, mutta huipun rakenteen materiaalina voidaan käyttää myös stabiloitua savea tai tarvittaessa kevennysmateriaalia, kuten rengasrouhetta. Vallin huipun leveys valmiissa rakenteessa on suunniteltu olevan vähintään 4 m, jotta vallin huipulla olisi helpompi ja turvallisempi liikkua huoltoajoneuvoilla.

Kolmikerroksisen valli rakennetaan useassa rakennusvaiheessa, jotka on esitetty kuvissa 5.3 ja 5.4. Meluvallin rakenteelliset tyyppipoikkileikkaukset on esitetty kuvissa 5.5 ja 5.6. Tyyppipoikkileikkaukset on määritelty tietyille paaluväleille. Vallin pituussuuntainen paalutus on esitetty kuvissa 5.1, 5.9 ja 5.10. Paaluvälillä 420...700 nykyinen maanpinta on huomattavasti tien tasausta korkeammalla, joten meluvallin kokonaispaksuudeksi tulee noin 6...11 metriä. Tällä alueella meluvalli toteutetaan kaksikerroksisena niin, että alinta allaskerrosta ei tehdä lainkaan, kuten kuvassa 5.6 on esitetty.

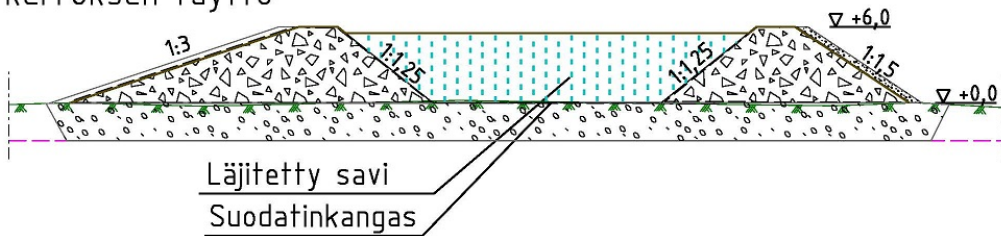
Vaihe 0,  
pohjanvahvistus



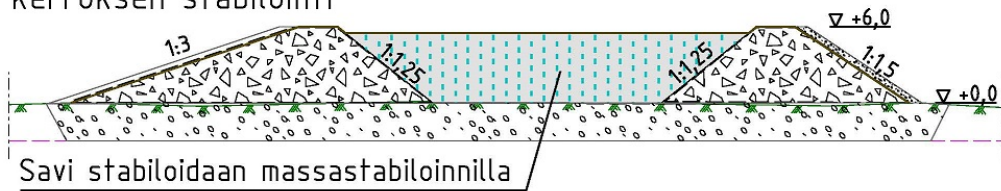
Vaihe 1,  
1. kerroksen vallit



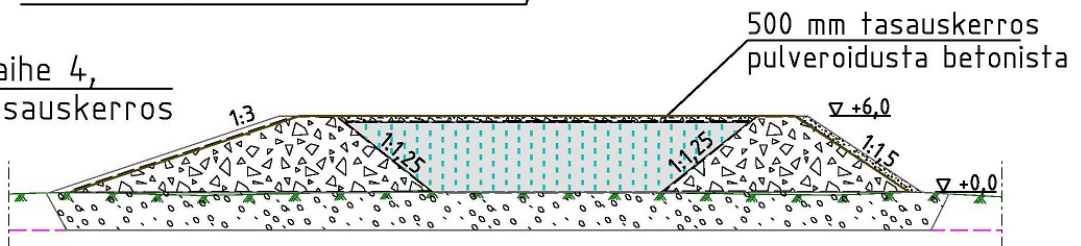
Vaihe 2,  
1. kerroksen täyttö



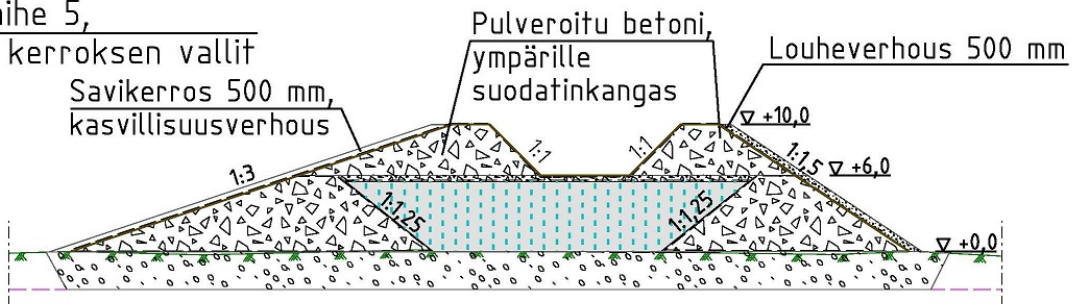
Vaihe 3,  
1. kerroksen stabilointi



Vaihe 4,  
tasauskerros

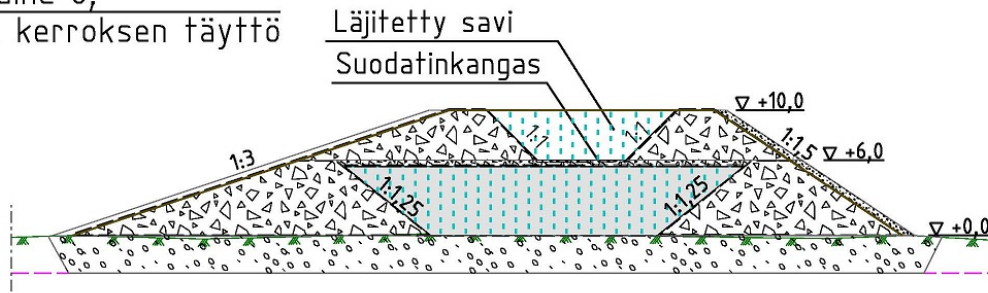


Vaihe 5,  
2. kerroksen vallit



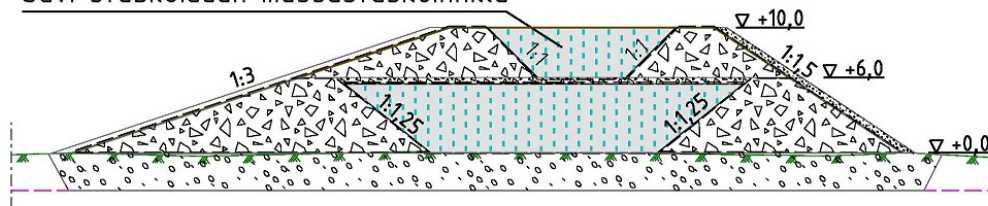
Kuva 5.3. Kolmikerroksisen meluvallirakenteen rakennusvaiheet osa 1.

Vaihe 6,  
2. kerroksen täyttö



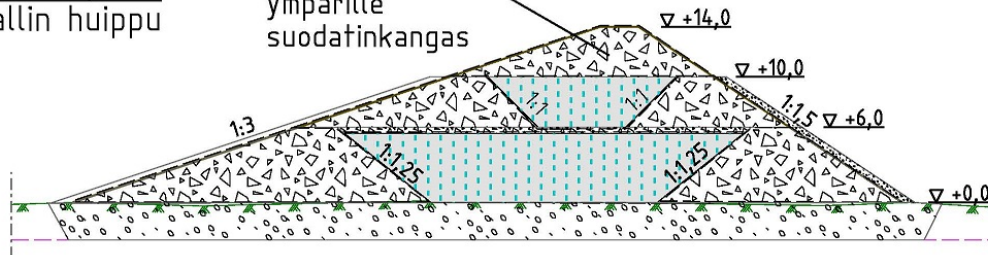
Vaihe 7,  
2. kerroksen stabilointi

Savi stabiloidaan massastabiloinnilla



Vaihe 8,  
vallin huippu

Pulveroitu betoni,  
ympäri  
suodatinkangas

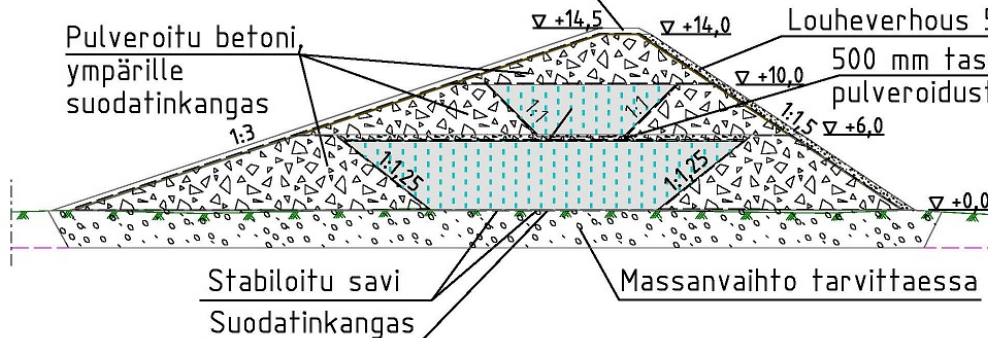


Vaihe 9,  
valmis rakenne

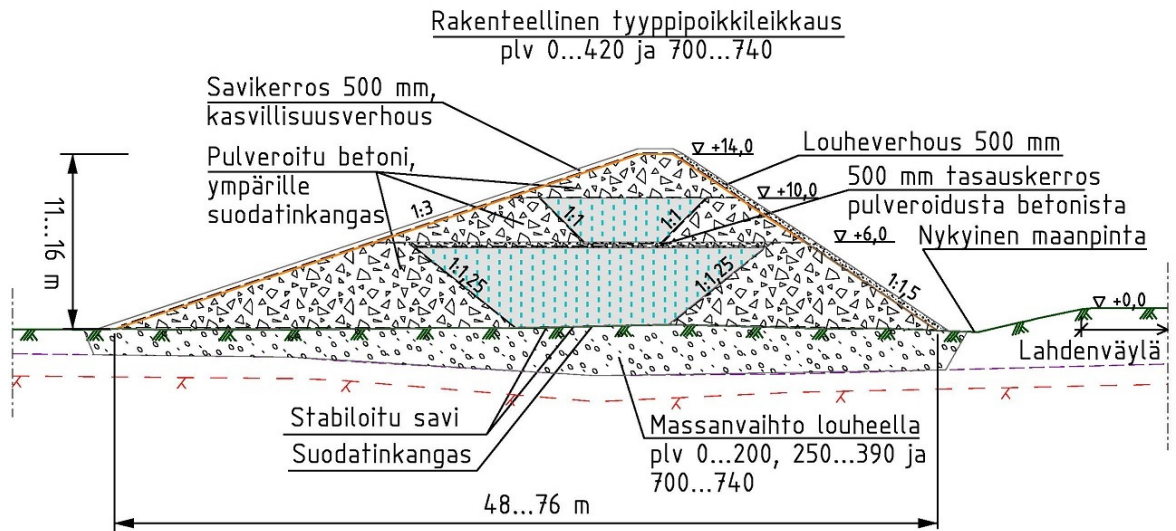
Savikerros 500 mm,  
kasvillisuusverhous

Pulveroitu betoni,  
ympäri  
suodatinkangas

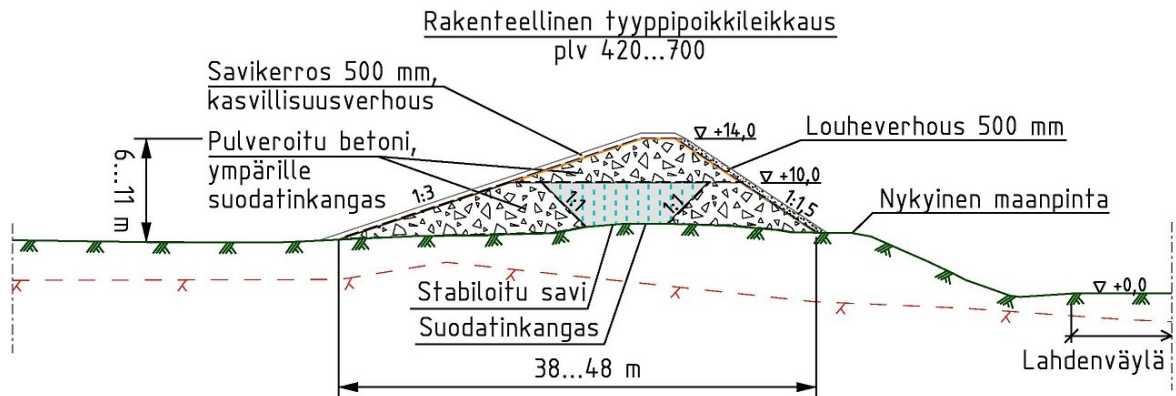
Louheverhous 500 mm  
500 mm tasauskerros  
pulveroidusta betonista



Kuva 5.4. Kolmikerroksisen meluvallirakenteen rakennusvaiheet osa 2.



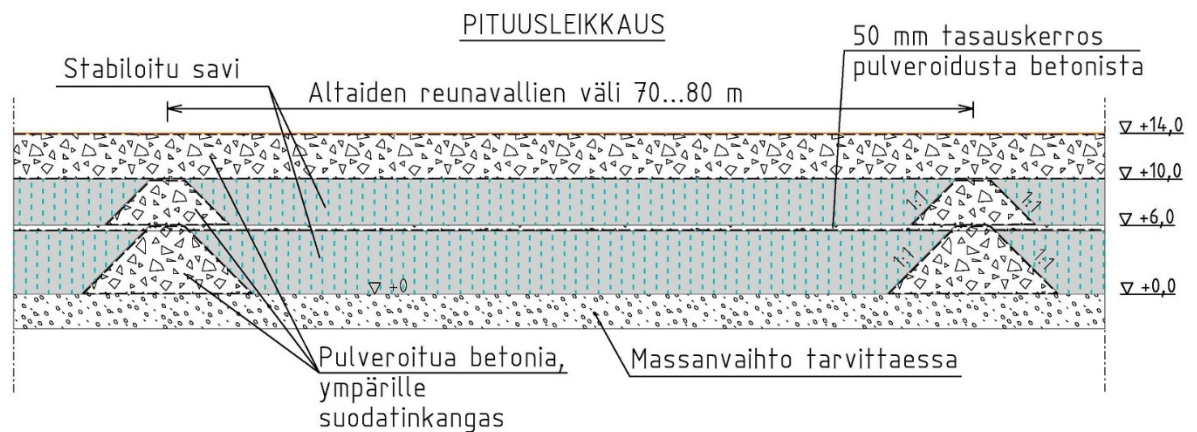
Kuva 5.5. Rakenteellinen tyypipoikkileikkaus paaluväleille 0...420 ja 700...740.



Kuva 5.6. Rakenteellinen tyypipoikkileikkaus paaluvälille 420...700.

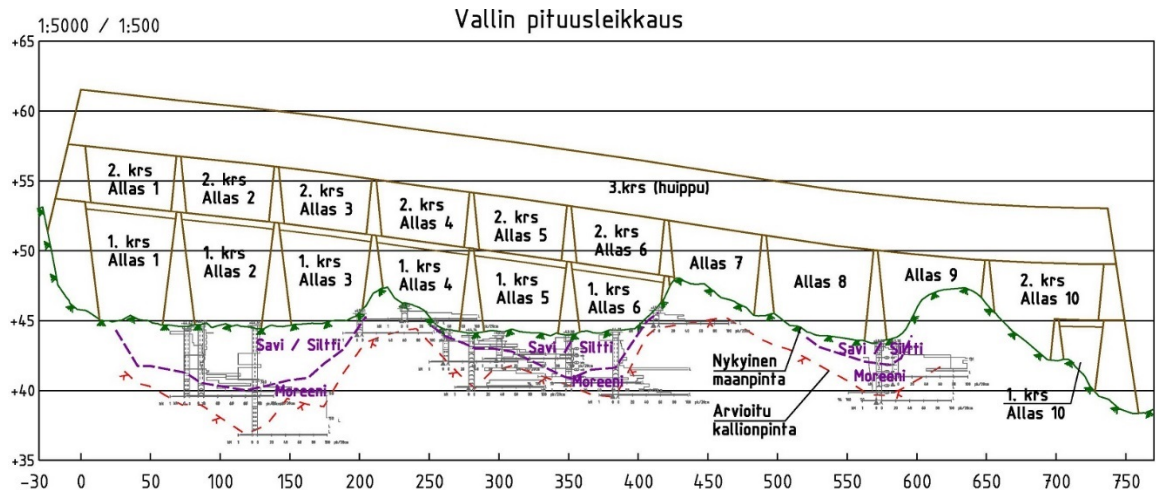
### 5.3 Vallin jako altaisiin ja määrälaskenta

Suunniteltu meluvalli jaetaan pituussuunnassa altaisiin, jotka erotetaan pulveroidusta betonista tehdyillä valleilla (kuva 5.7). Altaisiin jako tehdään, jotta vallin sisälle ei synny pitkiä pituussuuntaisia liukupintoja. Altaat myös helpottavat meluvallin rakentamista, koska niiden avulla on helpompi jakaa työ osiin. Suurissa kohteissa, kuten tämän diplomityön meluvallirakenteessa läjitettävät savimassat sekä niiden stabilointi on helpompi tehdä, kun vallin rakenne jaetaan useaan altaaseen.



Kuva 5.7. Meluvallin pituusleikkaus, jossa esitetty altaan reunavallit.

Lahdentien varteen suunnitellun meluvallin pituusleikkaus on esitetty kuvassa 5.8. Vallin pituudesta johtuen, leikkaus on skaalattu korkeussuunnassa kymmenkertaiseksi verrattuna pituussuuntaan. Leikkauksessa on esitetty altaan vallien rakenne kolmikerroksiselle rakennevaihtoehdolle. Lisäksi kuvassa 5.9 on esitetty ensimmäisen kerroksen altaat ja kuvassa 5.10 on esitetty toisen kerroksen altaat meluvallirakenteessa.



Kuva 5.8. Koko vallin rakenteen pituusleikkaus. Korkeuden suhde pituuteen 10:1.

Meluvallin kolmikerroksinen rakenne ja sen altaat mallinnettiin MicroStation-ohjelmaa ja sen TerraModeler-lisäsovellusta hyödyntäen. Mallinnuksen avulla pystyttiin laskemaan helposti valliin tarvittavia massamääriä. Meluvallirakenteeseen tarvittavan pulveroidun betonin määrä on esitetty kerroksittain taulukossa 5.1. Allaskohtaiset tilavuudet savimassojen läjittämistä varten on esitetty taulukossa 5.2. Rakennusmateriaalien määrät on esitetty rakenneteoreettisina tilavuuksina ( $m^3rtr$ ). Rakenneteoreettisella tilavuudella tarkoitetaan tilavuutta, jonka materiaali vie valmiissa rakenteessa.



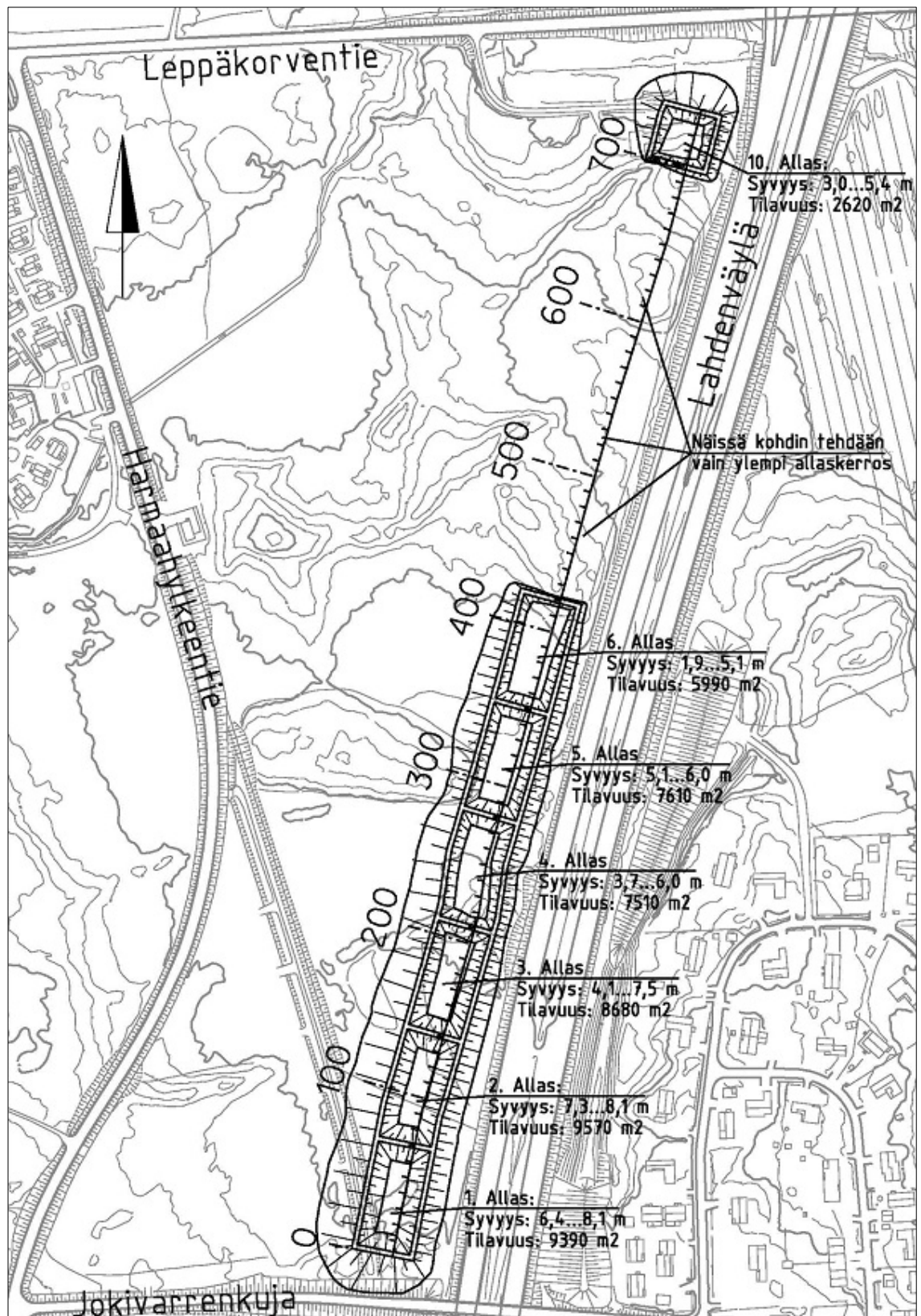
Mallinnuksen avulla tehtyjen määrälaskentojen avulla kolmikerroksiselle rakenteelle pulveroidun betonin määräksi saatiin 215 500 m<sup>3</sup>rtr, jos myös vallin huippu rakennetaan tästä materiaalista. Ilman huipun kerrosta pulveroidun betonin määräksi saadaan 179 500 m<sup>3</sup>rtr. Stabiloitavan savimassan määräksi saatiin määrälaskennalla yhteensä 81 930 m<sup>3</sup>rtr. Näiden laskentojen perusteella meluvallirakenteesta 72 % olisi pulveroitua betonia ja loput 28 % stabiloitua savea, mikäli myös huippu rakennetaan pulveroidusta betonista.

*Taulukko 5.1. Pulveroidun betonin määrä meluvallirakenteessa.*

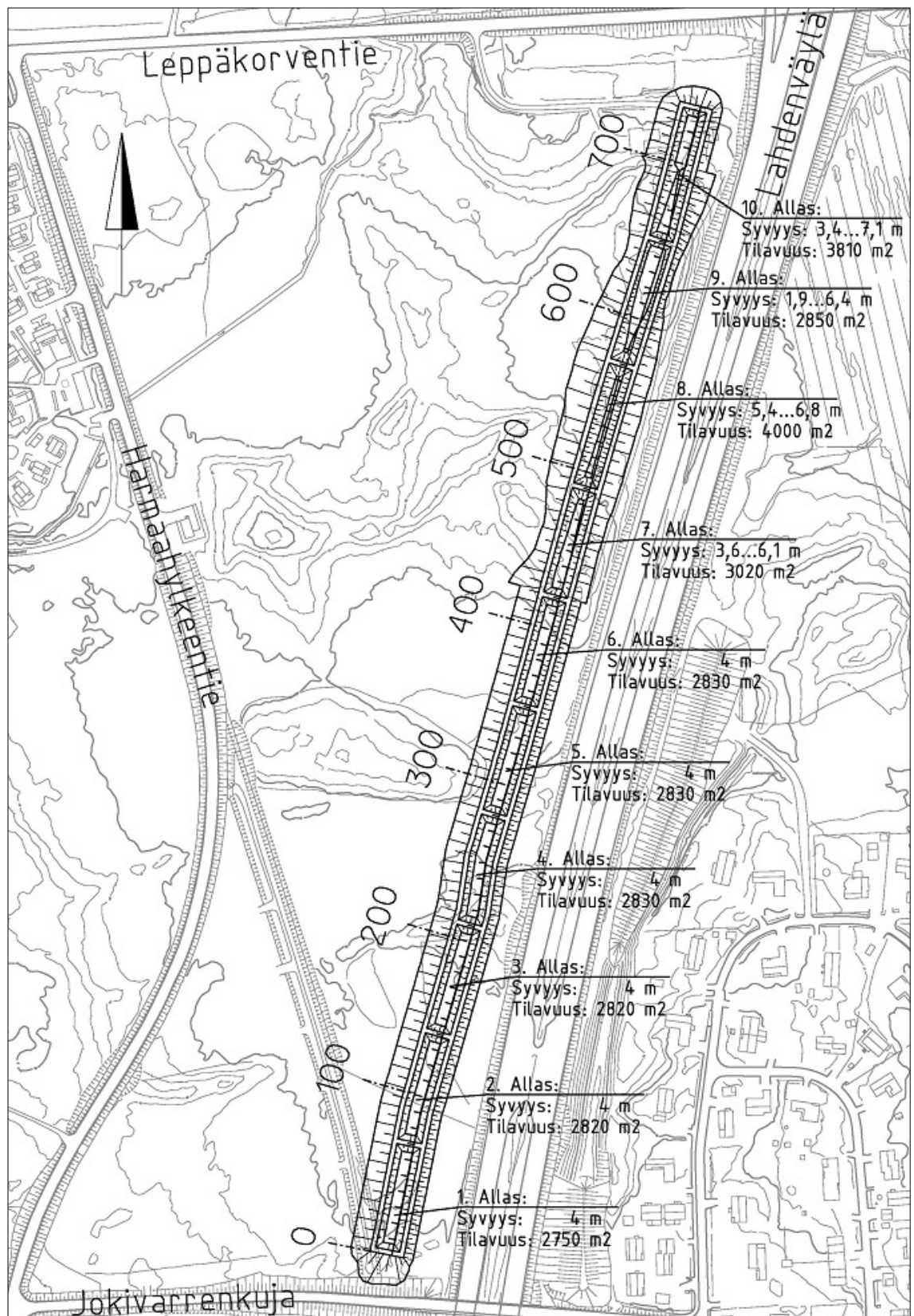
<b>Kerros</b>	<b>Pulveroidun betonin määrä (m<sup>3</sup>rtr)</b>
Vallin 1. kerros	100 000
Tasauskerros	7 000
Vallin 2. kerros	72 500
Vallin 3. kerros	36 000
<b>Yhteensä:</b>	<b>215 500</b>

*Taulukko 5.2. Allaskohtaiset massamäärät läjitettävälle savelle meluvallirakenteessa.*

<b>Allas</b>	<b>1. kerroksen altaaseen läjitettävän saven tilavuus (m<sup>3</sup>rtr)</b>	<b>2. kerroksen altaaseen läjitettävän saven tilavuus (m<sup>3</sup>rtr)</b>
1	9 390	2 750
2	9 570	2 820
3	8 680	2 820
4	7 510	2 830
5	7 610	2 830
6	5 990	2 830
7	-	3 020
8	-	4 000
9	-	2 850
10	2 620	3 810
Yht. kerros:	51 370	30 560
<b>Yhteensä:</b>	<b>81 930 m<sup>3</sup></b>	



Kuva 5.9. Meluvallin 1. kerroksen altaat sekä niiden tilavuudet.

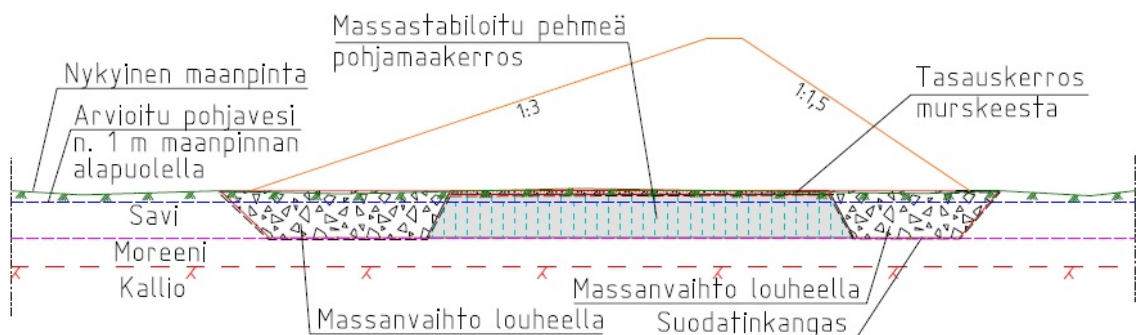


Kuva 5.10. Meluvallin 2. kerroksen altaat sekä niiden tilavuudet.

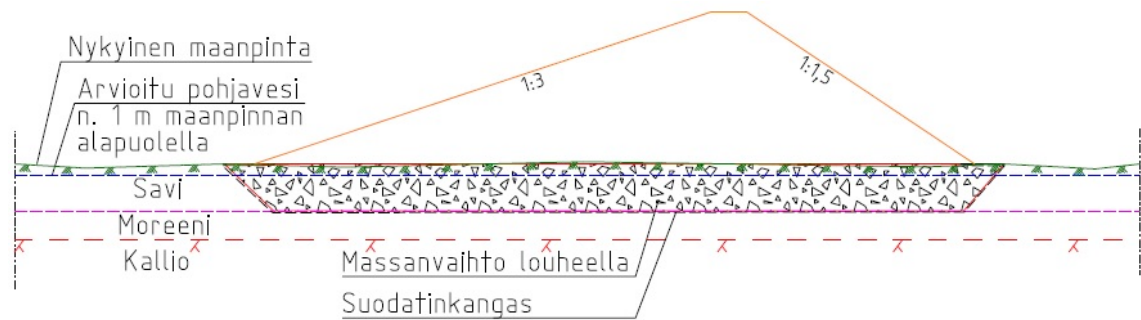
## 5.4 Pohjanvahvistustoimenpiteet

Osalla aluetta on pintakerroksena pehmeä savi- tai silttikerros. Pehmeän kerroksen paksuus on suurimmillaan luokkaa 4,5 m. Savi- ja silttialueilla meluvallin rakentaminen edellyttää joko pehmeiden maiden poistamista penkereen alta tai maan lujittamista. Pohjanvahvistuksen vaihtoehtoja arvioitaessa päädyttiin siihen, että yläpuoliset vallin oman painon aiheuttamat kuormat tulevat olemaan niin suuria, että pehmeikköalueilla tullaan tekemään massanvaihto. Massanvaihto tulee pohjaveden alapuolelle, joten pulveroidun betonin käyttöä korvaavana massana ei pidetty ympäristön kannalta hyvänä vaihtoehtona. Massanvaihdossa korvaavana massana on suunniteltu käytettävän kalliolouhetta.

Massanvaihtoa suunniteltiin tehtävän kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Ensimmäisellä tavalla pehmeikköalueilla rakennetaan kuvan 5.11 mukaisesti massanvaihdolla reunavallit kalliolouheesta. Reunavallien rakentamisen jälkeen väliin jäävät pehmeät maakerrokset stabiloitaisiin massastabiloinnilla. Toisella tapaa massanvaihto tehtäisiin täydellisenä (kuva 5.12), eli kaikki pehmeät maakerrokset poistettaisiin ja korvattaisiin kantavammalla maa-aineksella, kuten kalliolouheella. Jälkimmäistä tapaa päädyttiin käyttämään, koska sillä tavalla saadaan kantavampi pohja rakenteelle, eikä tarvitse huolehtia pohjamaan massastabiloinnin onnistumisesta. Huolellisesti rakennetun kantavan pohjan ansiosta yläpuolisten rakenteiden lujuusvaatimusten ei tarvitse olla niin suuria. Kalliolouhetta voidaan tarvittaessa louhia tarpeeksi suuri määrä lähitöillä olevista mäistä pohjanvahvistusta varten, joten kustannukset pystytään pitämään melko pieninä. Vallin alle jäävä pohjanvahvistuslouhe auttaa myös hulevesien hallinnassa imeytys- tai viivästysaltaina.



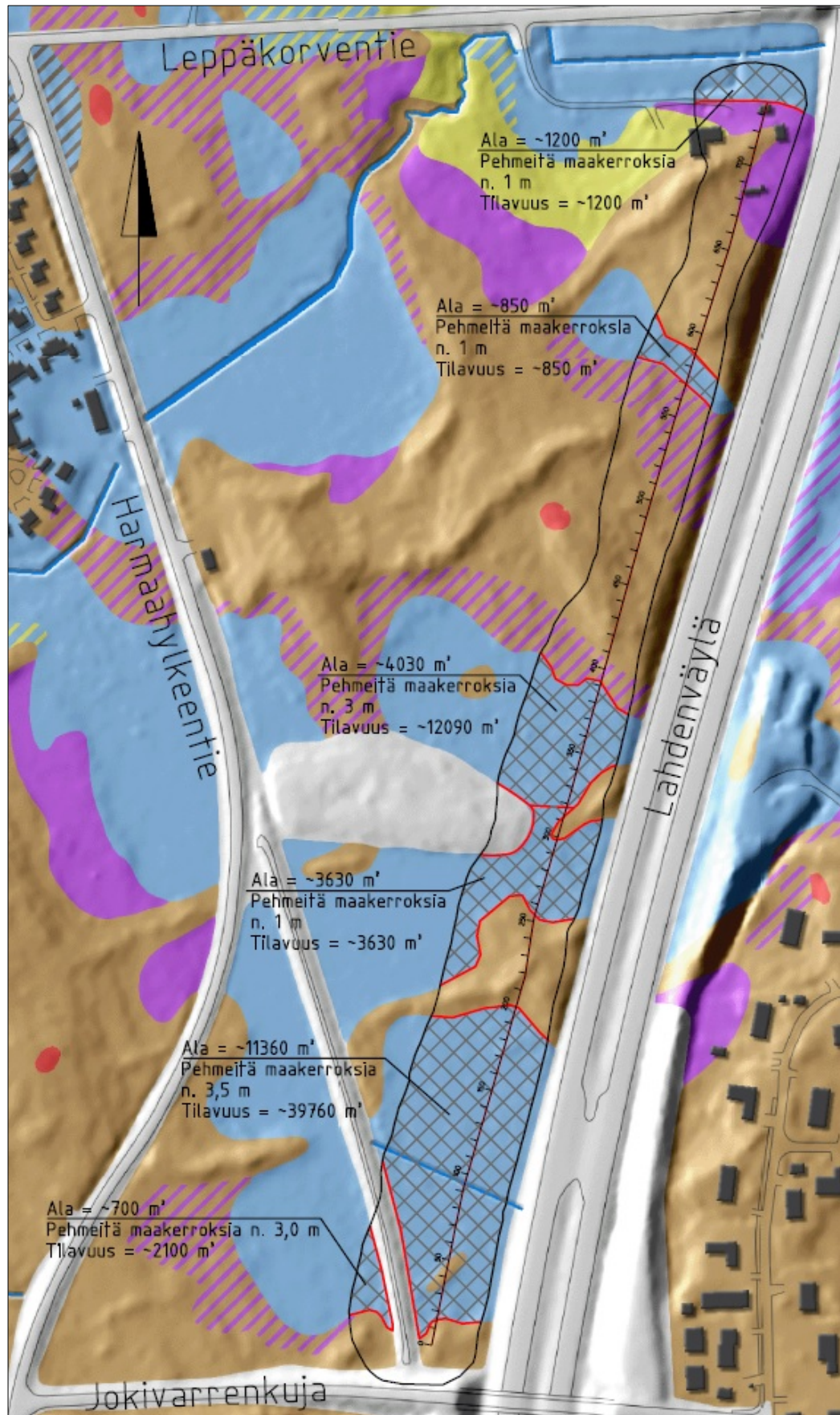
Kuva 5.11. Pohjanvahvistus osittaisella massanvaihdolla ja massastabiloinnilla.



Kuva 5.12. Pohjanvahvistus täydellisellä massanvaihdolla.

Massanvaihto tulee suorittaa huolellisesti niin, että massanvaihtolouheen ja tiiviin pohjaan väliin ei jää ohuita pehmeitä kerroksia. Massanvaihtokaivulla poistetut pehmeät maakerrokset jaotellaan humuspitoisuuden mukaan. Turpeiset pintamaakerrokset kuivutetaan ja myydään tai hyödynnetään kasvualustana. Stabilointiin kelpaavat savimaat voidaan läjittää meluvallin sisään ja stabiloida. Jäljelle jääneet ja massastabilointiin kelpaamattomat karkeammat maamassat läjitetään ja hyödynnetään meluvallin asuinalueen puoleisessa pintakerroksessa.

Suunnitellun meluvallin alueella (45 000 m<sup>2</sup>) on keskimäärin 300 mm paksu pintamaakerros, joka poistetaan. Tästä saadaan n. 13 500 m<sup>3</sup>tr pintamaata, jota voidaan hyödyntää meluvallin loivemman luiskan kasvualustana. Humuspitoisen pintakerroksen lisäksi alueella on savi- ja silttipitoisia maita noin 53 000 m<sup>3</sup>tr. Massanvaihtotäyttöä tarvitaan noin 60 000 m<sup>3</sup>tr. Kuvassa 5.13 on esitetty alueet, joissa täytyy tehdä pintamaakerroksen poiston lisäksi massanvaihtoa sekä näiden massanvaihtoalueiden pinta-alat ja massanvaihtomäärät. Suunnitelman pohjalla on käytetty maalajikarttaa, jonka värien merkitykset on selitetty kuvan 2.3 yhteydessä.



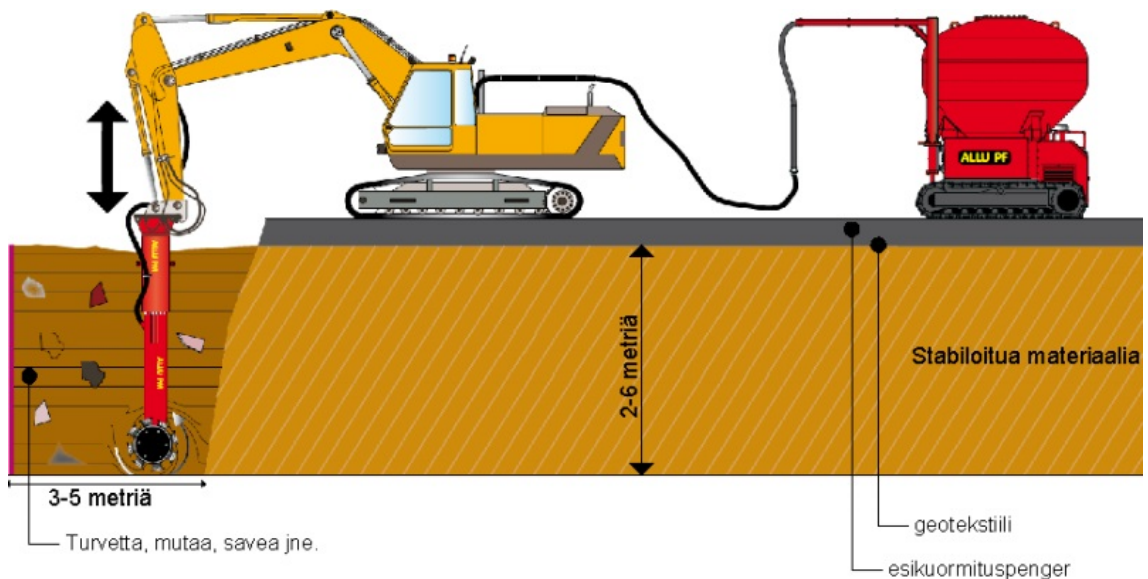
Kuva 5.13. Arvio massanvaihdon määristä.

## 5.5 Massastabilointi

### 5.5.1 Stabilointityö

Massastabilointi suoritetaan massasyvästabilointimenetelmällä työmaalla sekoittamalla stabilointimassa suoraan meluvallin purkubetonivalleista tehdyissä altaissa. Sekoitus tehdään massasyvästabilointia varten suunnitellulla työkoneella.

Massasyvästabiloinnissa läjitettyyn savimassaan tai muuhun heikkolaatuiseen maahan sekoitetaan sideainetta kaivinkoneeseen liitetyn sekoituslaitteiston avulla. Kuiva sideaineseos puhalletaan sideainesäiliöstä sekoituslaitteiston päässä olevaan sekoituskärkeen. Sekoituskärki liikkuu edestakaisin pystysuunnassa sekoittaen sideaineseosta maahan. Massasyvästabiloinnin koneet ja yleisperiaate on esitetty kuvassa 5.14. (Autiola ym. 2012.)



Kuva 5.14. Massasyvästabilointimenetelmän ja laitteiston yleisperiaate (Allu Finland Oy, Autiola ym. 2012).

Massastabiloinnin yksi ongelmia on sideaineen epätasainen jakaantuminen, joten sideaineen menekkiä ja sen tasaista sekoittumista stabiloitavaan saveen tulee seurata. Sekoitus työn tasaisuus varmistetaan sekoittamalla sideainetta sekä pysty- että vaakasuunnassa riittävän paljon. (InfraRYL 2010.) Massastabiloinnin saven valinnassa on otettava huomioon, että savi ei saa sisältää suuria kiviä tai muita kovia kappaleita. Saven seassa olevat

---

kivet voivat rikkoa stabilointilaitteiden teriä, mikä hidastaa stabilointityötä sekä aiheuttaa lisäkustannuksia.

### **5.5.2 Massastabiloinnin laadunvarmistus**

Massasyvästabiloinnille on asetettu tavoitteellinen leikkauslujuus, joka on määritelty laskennallisten tarkasteluiden perusteella. Tavoiteleikkauslujuuden todentamiseksi massastabiloidusta maasta tehdään siipikairauksia ja otetaan näytteitä, joista tutkitaan leikkauslujuus laboratorion kokein. Kairaukset ja näytteenotto suoritetaan noin 90 vuorokauden lujittumisajan jälkeen. Massastabiloidulle maalle on tyypillistä epähomogeenisuus, joten laadun varmistamiseksi on tehtävä riittävästi tutkimuksia. Massastabiloidun saven leikkauslujuustavoite vaihtelee yleensä välillä 30...70 kPa ja se on harvemmin yli 100 kPa (Liikennevirasto 2015). Tässä työssä massasyvästabiloidun saven leikkauslujuustavoitteeksi on asetettu 50 kPa.

Massastabiloinnin onnistuimista voidaan tutkia kentällä suoritettavilla laadunvalvontatutkimuksilla sekä laboratorion kokeilla. Kentällä suoritettavia tutkimuksia ovat esimerkiksi kairaukset, koekuopat, näytteenotot ja painumalevyt. Lisäksi laboratorion kokeita voidaan tehdä kentältä otetuista näytteenotoista. Laadunvalvontatutkimukset suoritetaan yleensä 7...90 vrk lujittumisajan jälkeen. Pohjakuonaa sideaineena käytettäessä lopullinen lujuus tyypillisesti saavutetaan vasta pidemmän ajan kuluessa, joten osa laadunvalvontakairauksista voidaan tehdä myös 6...12 kk kuluttua stabilointityöstä. (Forsman ym. 2014.)

Massastabiloinnin onnistumista voidaan myös arvioida massastabiloidun kerroksen päälle rakennetun esikuormitus- tai ylipenkereen painumia seuraamalla. Tämän työn rakennustavalla rakennettavassa meluvallissa stabiloinnin onnistumista voidaan arvioida, kuinka paljon ja kuinka tasaisesti ylemmän rakennekerroksen pulveroidusta betonista tehdyt vallit painuvat.

Tässä kohteessa tärkein tutkittava ominaisuus stabiloidusta savesta on sen leikkauslujuus. Leikkauslujuutta pystytään arvioimaan hyvin esimerkiksi siipikairauksilla. Tässä kohteessa massastabiloinnin laadunvarmistukseksi on ehdotettu tehtävän viisi siipikairausta jokaisesta massastabiloidusta 50...80 m pitkistä altaasta. Kolmikerroksisen meluvallirakenteen altaat on esitetty kuvissa 5.7 ja 5.8.

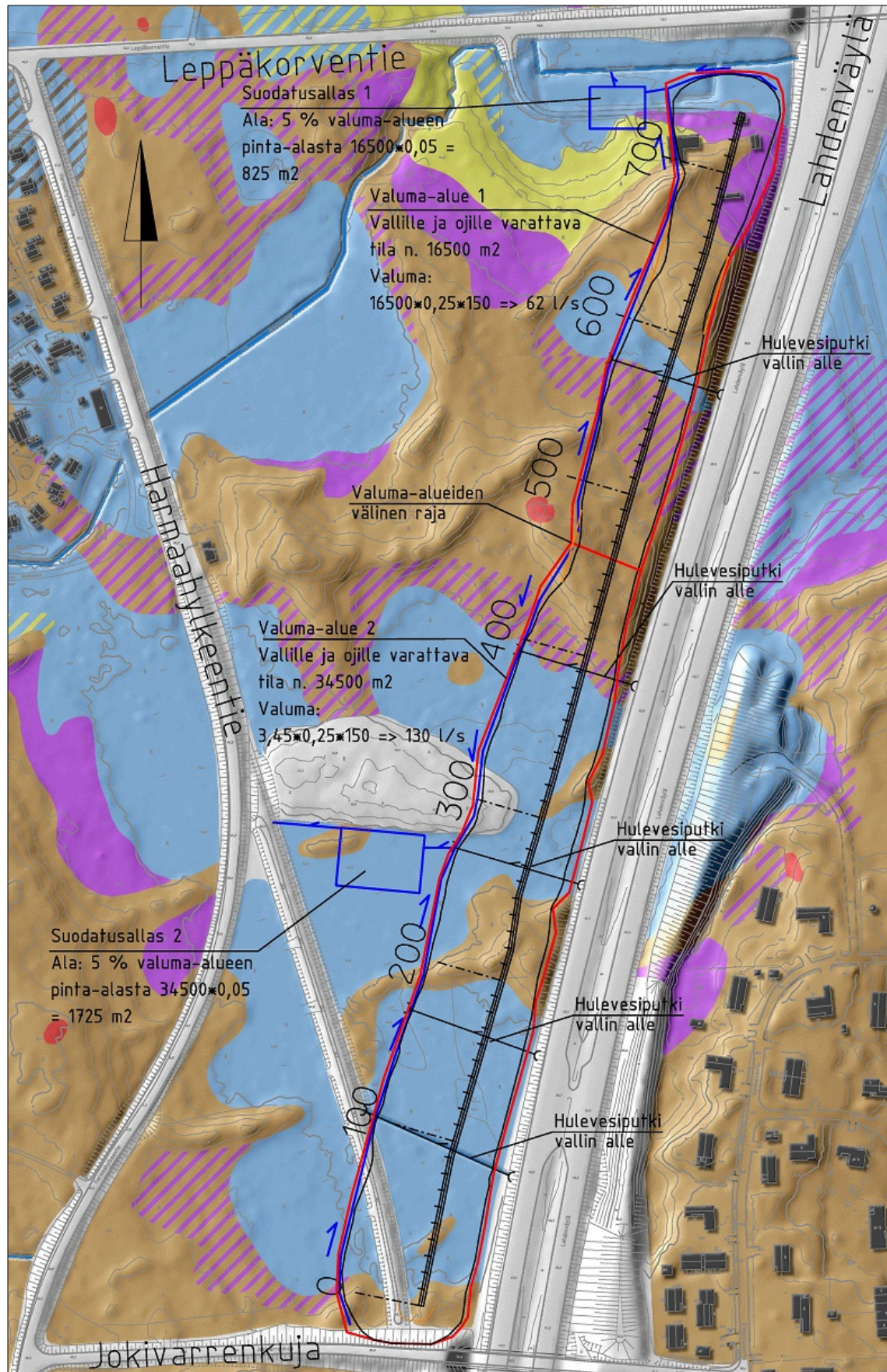


## 5.6 Hulevesien hallinta

Suunnitellun meluvallin alueella kulkee kahdessa kohtaa meluvalliin nähden poikkisuuntaisia oja. Pienempi nimeämätön oja sijaitsee lähellä suunnittelualueen eteläpäätyä ja suurempi Metsolansuonoja sijaitsee suunnittelualueen pohjoispäädyssä. Pohjoispäädyssä meluvallin luiska on suunniteltu päättyvän juuri ennen Metsolansuonojaa, jotta oja ei tarvitsisi siirtää tai putkittaa. Toinen, eteläosassa sijaitseva oja joudutaan kuitenkin katkaisemaan meluvallilla, joten erityisesti tässä kohtaa tulee kiinnittää huomiota vesien kulkeutumiseen. Meluvallin suuri koko sekä pitkät luiskat keskittävät sadevesiä nopeasti vallin juurelle, mikä puolestaan asettaa haasteen hulevesien pois johtamiselle. Hulevesien kannalta tilanteen tekee hankalaksi erityisesti se, että suunniteltu valli on lähes 800 metriä pitkä ja pituussuunnassa yhtenäinen. Hulevesien pois johtamista hankaloittaa myös se, että valli sijoittuu kahdelle eri valuma-alueelle.

Tulvimisen estämistä varten meluvallin alle on suunniteltu rakennettavan hulevesiputkia, jotka mahdollistavat vesien virtauksen vallin puolelta toiselle. Hulevesiputkia on suunnitelmassa yhteensä viisi, joista yksi kulkee nykyisen eteläosassa sijaitsevan ojan kohdalla. Putkia on tiheämmin suunnittelualueen eteläosassa, koska siellä maastonpiirteet ovat alavampia ja maaperä vetisempää. Hulevesiputkien tulee kestää hyvin yläpuolisia kuormia sekä veden emäksisyyttä, joten putkeksi on valittu raudoituksella vahvistettu betoniputki. Alustavien arvioiden perusteella putkikooksi on valittu sisähalkaisijaltaan 400 mm paksu putki. Meluvallin alle suunniteltujen putkien sijainnit on esitetty kuvassa 5.15.

Meluvalli on jaettu kahteen valuma-alueeseen, jotka suunnittelualueen keskikohdilla oleva mäki erottaa. Pohjoispuolen valuma-alue on suuruudeltaan noin 16 500 m<sup>2</sup> ja eteläpuolen valuma-alue on suuruudeltaan noin 34 500 m<sup>2</sup>. Alueet on esitetty punaisella rajauksella kuvassa 5.15. Meluvallin länsipuolen juureen kaivetaan niskaojat, joiden avulla ohjataan valuma-alueilta tulevia hulevesiä pois.



Kuva 5.15. Alustava suunnitelma hulevesien hallintaa varten.

---

Meluvallin rakentamiseen käytetystä pulveroidusta betonista voi liueta hienoainesta sadevesien mukana. Pulveroidussa betonissa oleva kalkki nostaa veden pH-arvoa emäksisempään suuntaan. Tätä pH:n nousua pyritään välttämään, mutta pieni emäksisyyden nousu vesistöissä voidaan sallia. Alueella kasvaa runsaasti havupuita, jotka ovat tehneet ympäristöstä tavallista happamampaa, joten pienellä muutoksella emäksiseen suuntaan voi olla positiivinen vaikutus ympäristöön. Veden normaali pH on lähellä neutraalia, eli sen pH arvo on noin 7,0. Suomen sisävesistöissä tyypillinen pH-arvo on lievästi hapan 6,5-6,8 ja vesieliöstö on sopeutunut elämään, kun veden pH on noin 6,0-8,0 (Oravainen 1999).

Pulveroidusta betonista tehtyjen vallien ympärille asennetaan suodatinkankaat estämään betonin hienoaineksen irtoamista ympäristöön hulevesien mukana. Betonimurskan emäksisyyden takia käytettävä suodatinkangas tulee olla tehty emäksisyyttä kestävästä materiaalista kuten polypropeenista. Esimerkiksi polyesteristä valmistettu suodatinkangas ei kestä emäksisyyttä (Forsman ym. 2011), joten se ei sovellu betonimurskan kanssa käytettäväksi. Asuinalueen puoleisessa loivemmassa luiskassa on suunniteltu tehtävän pulveroidun betonin päälle alueelta kaivetusta savesta ja siltistä kerros, joka estää hulevesien päätymistä kosketuksiin betonimurskan kanssa. Lahdentien puoleisessa jyrkemmässä luiskassa hulevedet valuvat nopeasti puolen metrin paksuista pienlouheverhousta pitkin.

Hulevesien hallintaan ja vesien hienoainespitoisuuden vähentämiseksi alueelle on suunniteltu tehtävän vedenkäsittelyaltaita. Yksi tapa on tehdä meluvallin vesiä pois johtavien ojien alkupäähän suodatusaltaat (kuva 5.15), jotka estävät kiintoaineen pääsyä vesistöihin. Toinen tapa on hyödyntää meluvallin alle tehtävää massanvaihtoa. Massanvaihdossa on suunniteltu käytettävän lähistöltä saatavaa kallioulouhetta. Kallioulouhepohjan avulla suuri osa sadevesistä voidaan varastoida, viivyttää ja imeyttää vallin alle. Tämä ratkaisu edesauttaa myös hulevesien pääsyä vallin puolelta toiselle.

## 6 Meluvallin geotekninen laskenta

### 6.1 Laskentaparametrien määrittäminen

Meluvalleja suunniteltaessa on tärkeää tutkia laskennallisesti niiden kestävyyttä. Tärkeimmät tutkittavat riskejä aiheuttavat ominaisuudet meluvalleissa on niiden stabiilitetti ja painuma. Laskelmia varten materiaaleille täytyy määrittellä niiden ominaisuusparametreja. Näillä parametreilla kuvataan esimerkiksi materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia.

Silttisen saven ominaisuusparametrit on määritetty alueelta tehtyjen näytteenottojen ja pohjatutkimuskairausten perusteella. Stabiloidulle savelle asetettiin leikkauslujuustavoite, joka todennetaan siipikairauksilla massastabiloidusta savesta. Stabiloidun saven laskentaparametrien määrittäminen on käsitelty tarkemmin tämän diplomityön kohdassa 4.2.

Louhe on raekooltaan hyvin karkearakeista, jonka takia tavanomaiset mittausmenetelmät eivät sovellu sen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämiseen. Käytännössä ainoa tapa määrittää louheen lujuus- ja muodonmuutosparametreja on arvioimalla materiaalin ominaisuuksia rakeisuusjakautumaan ja tiiviystilaan perustuen. Louheen parametrien arvioimisen apuna voidaan käyttää taulukkoa 6.1. (Tiehallinto 2011.)

*Taulukko 6.1. Louheen lujuus- ja muodonmuutosparametrien likimääräinen arviointi (Tiehallinto 2011).*

Louheen raekoko	Tilavuuspaino (kN/m <sup>3</sup> )	Moduuliluku m	Jännitys-eksponentti $\beta$	Kitkakulman huippuarvo (°)
Esimurskattu louhe 0...150 / 0...300 mm	17 ... 22	500 ... 2000	0,5	38 ... 50
Louhe 0...300 / 0...600 mm	17 ... 22	300 ... 1500	0,5	38 ... 50

Massanvaihdoissa käytetty louhe on suuren kuormituksen alla, joka tiivistää hyvin kerroksen. Massanvaihdoissa tullaan myös todennäköisesti käyttämään hyvin karkeata kallioulouhetta. Massanvaihdoissa käytetyn louheen laatu saattaa kuitenkin vaihdella paljon, joten laskentaparametrit on valittu massanvaihtolouheelle varovaisesti. Luiskassa oleva pienlouhe on laadultaan homogeenisempää, mutta raekooltaan pienempää eikä se ole

kuormituksen alla. Luiskaan tehtävän pienlouheverhouksen vaikutus koko rakenteen stabiliteettiin on hyvin pieni.

Pulveroitu betoni on myös raekooltaan suurta ja laadultaan vaihtelevaa, joten sen ominaisuuksia on vaikea määrittää. Pulveroidun betonin materiaaliparametreja arvioitaessa on hyödynnetty tämän diplomityön kohdassa 3.1.4 käsitellyn tuotteistetun betonimurskeen parametritaulukkoa 3.2.

## **6.2 Varmuuskertoimien määrittäminen**

Geoteknistä laskentaa voidaan tehdä käyttämällä kokonais- tai osavarmuuslukumenettelyä. Kokonaisvarmuuslukumenettelyllä tarkoitetaan perinteisempää tapaa laskea, jossa laskelmat tehdään annetuilla parametreilla ja varmuuskertoimen tulee ylittää ennalta määritetty ylimitoituserroin. Osavarmuuslukumenettelyllä mitoitustavasta riippuen kaikille tai osalle parametreista, kuormista tai kestävyyksistä on annettu osavarmuuskertoimia, joilla alkuperäisiä arvoja redusoidaan tai kerrotaan. Lopuksi varmuuden tulee olla vähintään 1,0. Tarkoissa geoteknisissä laskelmissa käytetään yleisesti eurokoodistandardien mukaista osavarmuuslukumenettelyä.

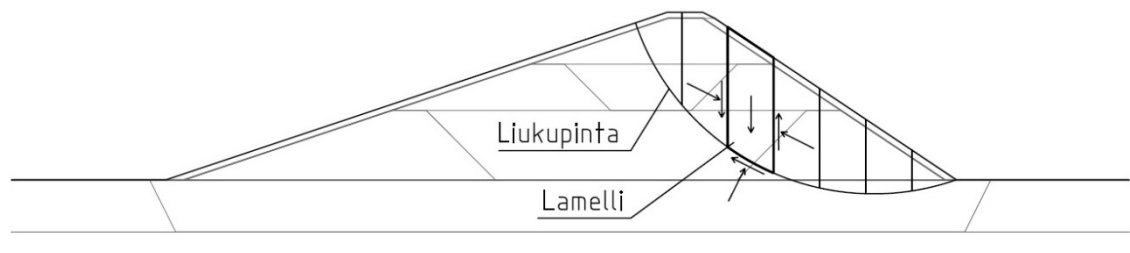
Tämän diplomityön stabiliteetilaskennoissa on käytetty kokonaisvarmuuslukumenettelyä varmuuskertoimien määrittämiseen. Kokonaisvarmuuslukumenettelyä on käytetty tarkemman eurokoodin mukaisen osavarmuuslukumenettelyn sijaan, koska tässä työssä tehdyt laskelmat ovat vielä alustavia, eikä tarkkoja tietoja valliin käytettävistä materiaaleista ole vielä saatavilla. Tarkkojen laskentamenetelmien käyttäminen puutteellisilla tiedoilla voi johtaa helposti väärin tuloksiin. Lisäksi stabiliteetilaskennassa elementtime-  
netelmää käytettäessä eurokoodin mukaisilla osavarmuuskertoimilla laskeminen on työlästä ja eurokoodimitoituksella tehdyt murtorajatilatarkastelut johtavat yleensä pienempään varmuustasoon, kuin kokonaisvarmuusmenettelyllä (Saljola 2011).

Tässä työssä tehdyissä laskelmissa tavoitteelliseksi työnaikaiseksi kokonaisvarmuuskertoimeksi on määritetty 1,3 ja tavoitteelliseksi pysyvän rakenteen kokonaisvarmuuskertoimeksi on määritetty 1,5.

### 6.3 Alustavat stabiliteetilaskennat liukupintamenetelmällä

Meluvallin poikkileikkausvaihtoehdoille tehtiin alustavat stabiliteetilaskelmat liukupintamenetelmällä. Luiskien stabiliteettien laskemiseen käytetyt liukupintamenetelmät perustuvat voimien ja momenttien tasapainoehtoihin. Tämän takia liukupintamenetelmiä kutsutaan toisinaan myös tasapainomenetelmiksi. Alustavia stabiliteetilaskelmia tehtiin Suomessa yleisesti käytetyllä geoteknisellä GeoCalc-laskentaohjelmalla (versio 3.0), joka laskee heikoimpia liukupintoja liukupintaan perustuvalla lamellimenetelmällä.

Liukupintamenetelmään perustuva lamellimenetelmä on edelleen käytetyin tapa laskea kaivanto- ja pengerluiskien stabiliteettia (Cheng 2005), vaikka käyttöön on tullut kehittyneempiä ja tarkempia elementtimenetelmään perustuvia laskentaohjelmia. Liukupintamenetelmään perustuvien menetelmien suosiota selittää vanha tottumus ja se, että liukupintamenetelmään perustuvat teoriat on helpompi ymmärtää ja niihin perustuvat ohjelmat ovat helppokäyttöisempiä ja nopeampia.



Kuva 6.1. Liukupinnan jako pystysuoriin lamelleihin lamellimenetelmässä.

Lamellimenetelmässä luiskan liukupinta jaetaan pystysuoriin osiin, joita nimitetään lamelleiksi. Kuvassa 6.1 on esimerkki lamelleihin jaetusta meluvallin liukupinnasta. Jokaisen lamellin on toteutettava valitun laskentamenetelmän mukaisesti momentti- tai voimatasapainoehto, joskus molemmat. Lamellimenetelmän laskentamenetelmät voidaan jakaa karkeasti yksinkertaisiin ja tarkkoihin menetelmiin. Yksinkertaisissa menetelmissä lamellien on toteutettava joko momenttitasapainoehto tai vaihtoehtoisesti voimatasapainoehto. Tarkoissa menetelmissä lamellien on toteutettava molemmat ehdot. Tässä työssä rakenteen monimutkaisuuden takia on käytetty tarkkaa Morgenstern-Pricen laskentamenetelmää.

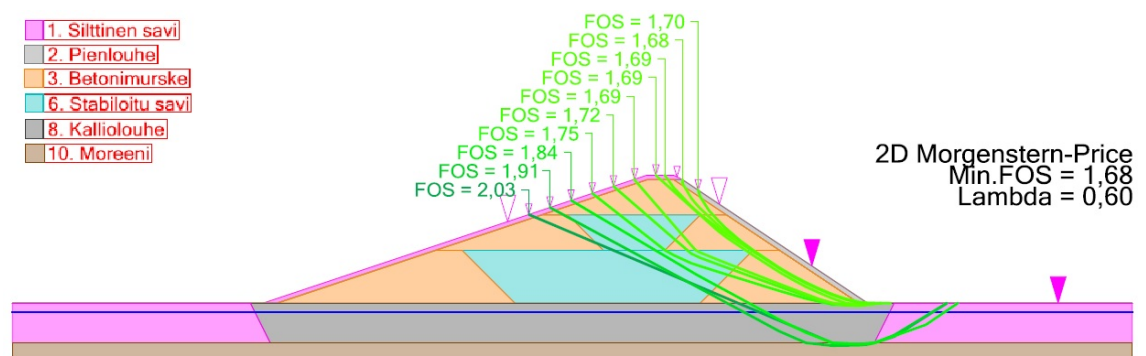
Tarkkoja menetelmiä pidetään yleisesti parempina, kuin yksinkertaisia menetelmiä, mutta minkään laskentamenetelmän ei voida sanoa olevan selvästi paras kaikkiin tilanteisiin.

Laskentamenetelmän valinnassa suunnittelija käyttää avuksi omaa kokemustaan ja asiantuntemustaan suunnittelukohdekohtaisesti. Yksinkertaiset menetelmät soveltuvat hyvin puhtaille saville ja ympyrämuotoisille liukupinnoille, kitkamaissa ja ei-ympyränmuotoisissa liukupinnoissa on tarvetta käyttää tarkkoja lamellimenetelmiä (Rantamäki ym. 1999). Laskentaohjelmia käytettäessä suunnittelijan tulee myös tarkistaa, että ohjelman antamat heikoimmat liukupinnat ovat dynaamisesti toimivia ja järkevän oloisia.

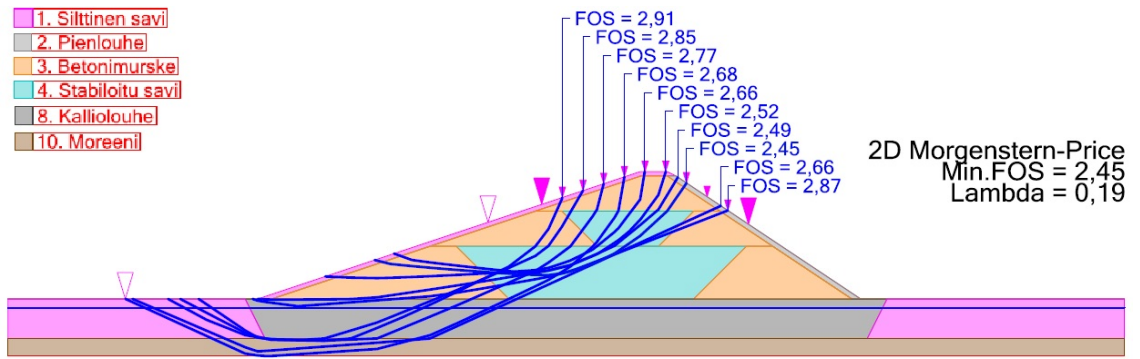
Alustavat stabiliteettilaskelmat tehtiin erikseen jokaiselle rakennevaihtoehdolle. Kuvissa 6.2...6.7 on esitetty GeoCalc-laskentaohjelmalla tehtyjen alustavien stabiliteettilaskentojen tulokset. Alustavien stabiliteettilaskelmien materiaaliparametrit löytyvät taulukosta 6.2.

Taulukko 6.2. GeoCalc-laskentaohjelmalla tehtyjen alustavien stabiliteettilaskelmien parametrit.

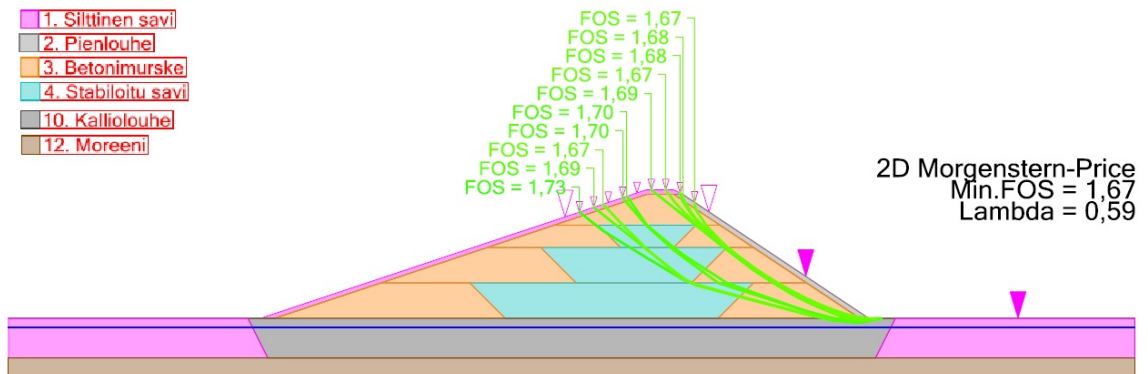
Id	Soil layer	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\Phi$ ' [°]	$\Delta c$ [kPa/m]	$\Delta \Phi$ ' [°/m]	Material Type	ru	ruq	ru'
1	Silttinen savi	15,50	16,50	20,00	0,00			Independent on depth			
2	Pienlouhe	18,00	20,00	3,00	42,00			Independent on depth			
3	Betonimurske	17,00	19,00	5,00	40,00			Independent on depth			
6	Stabiloitu savi	16,50	17,00	50,00	0,00			Independent on depth			
8	Kallioulouhe	18,00	20,00	0,00	42,00			Independent on depth			
10	Moreeni	19,00	21,00	1,00	38,00			Independent on depth			



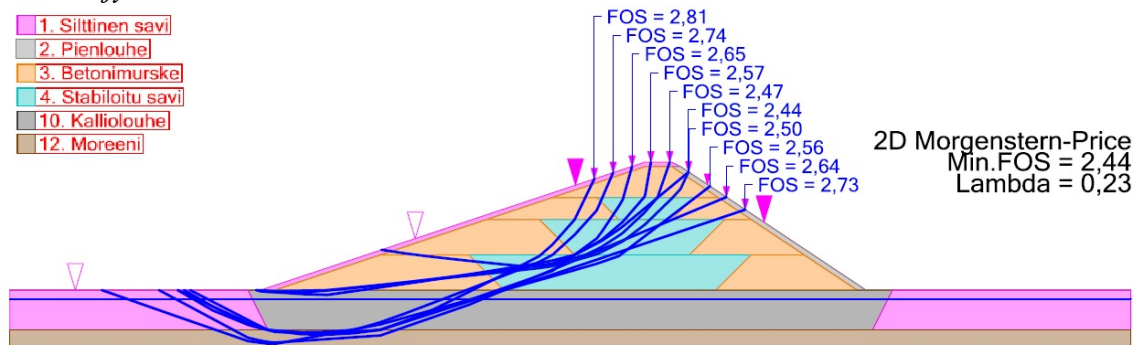
Kuva 6.2. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste kolmikerroksisen meluvallin jyrkälle luiskalle.



Kuva 6.3. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste kolmikerroksisen meluvallin loivalle luiskalle.

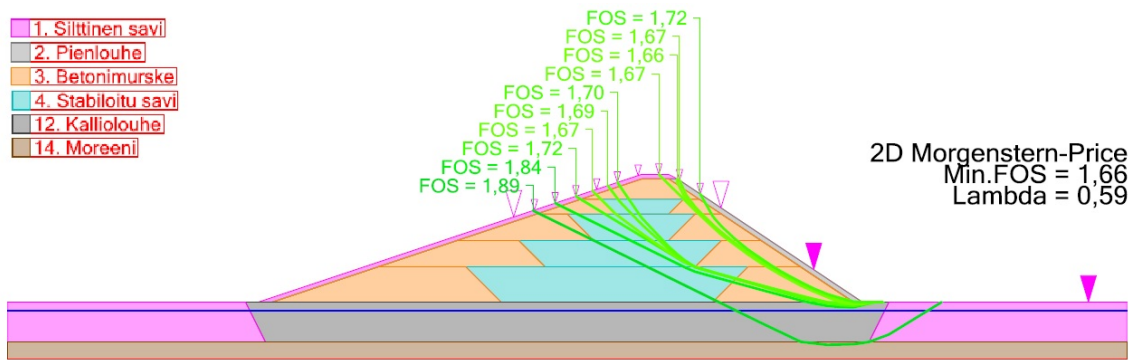


Kuva 6.4. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste neljakerroksisen meluvallin jyrkälle luiskalle.

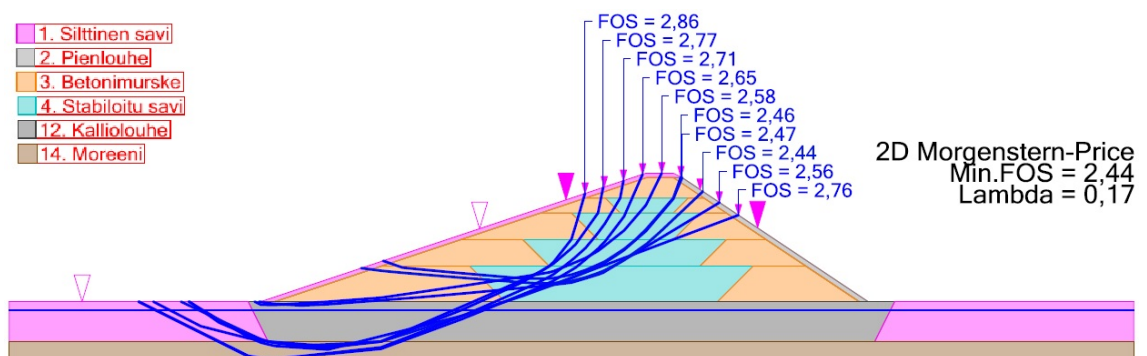


Kuva 6.5. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste neljakerroksisen meluvallirakenteen loivalle luiskalle.





Kuva 6.6. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste viisikerroksisen meluvallin jyrkälle luiskalle.



Kuva 6.7. GeoCalc-laskentaohjelman stabiliteettilaskennan tuloste viisikerroksisen meluvallirakenteen loivalle luiskalle.

## 6.4 Laskennat elementtimenetelmällä

### 6.4.1 Yleistä elementtimenetelmästä

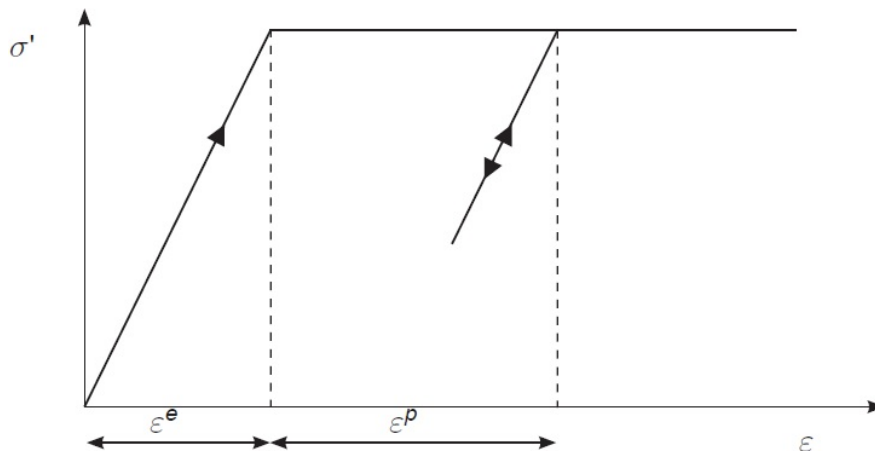
Elementtimenetelmään perustuvat tietokoneohjelmat ovat erityisen hyödyllisiä, kun tarkastellaan tilannetta, jossa tilanne muuttuu rakentamisen aikana pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi tässä diplomityössä käsitellyn meluvallirakenteen stabiliteettiriskit saattavat olla suurempia rakentamisen aikana kuin valmiissa rakenteessa. Elementtimenetelmän avulla tehdyt laskennat ovat monimutkaisia ja aikaa vieviä prosesseja, joissa tarvitaan geotekniikan asiantuntemusta laskentatulosten arviointiin.

Tässä diplomityössä elementtimenetelmällä on tutkittu Lahdentien viereen suunnitellun meluvallin stabiliteettia ja painumaa. Elementtimenetelmässä on useita vaihtoehtoisia materiaalien laskentamalleja. Tässä diplomityössä on käytetty Mohr-Coulombin materiaalimallia meluvallin rakennusmateriaalien käyttäytymisen mallintamiseen.

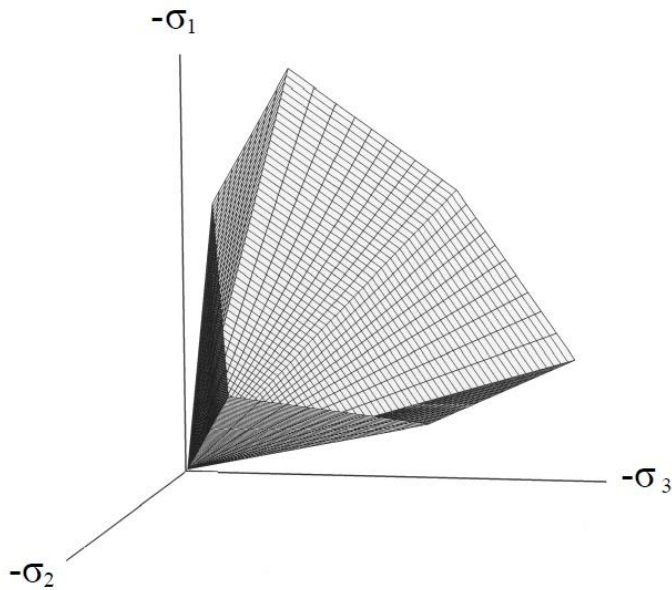
## 6.4.2 Mohr-Coulombin materiaalmalli

Mohr-Coulombin malli sopii hyvin käyttöön, kun tiedot materiaaleista ja niiden ominaisuuksista ovat epävarmoja. Esimerkiksi tässä työssä tarkasteltua Leppäkorven meluvallia on suunniteltu tietämättä tarkkaan mitä materiaaleja tullaan käyttämään, eikä materiaalien valintaa haluta rajoittaa liikaa. Suunnittelua on tehty sillä periaatteella, että materiaalien ominaisuuksille asetetaan laskelmien avulla raja-arvot, jotka rakentamista varten valittujen materiaalien tulee täyttää.

Mohr-Coulombin malli (MC) on yleisesti käytetty ja melko yksinkertainen materiaalmalli. Mohr-Coulomb on kimmainen ideaaliplastinen materiaalmalli (kuva 6.8), eikä se huomioi materiaalin myötölujittumista. Mohr-Coulombin mallin mukainen materiaali käyttäytyy murtoon asti täysin kimmoisesti, minkä jälkeen se alkaa myötää. Murtotilassa muodonmuutokset kasvavat äärettömästi, kun jännitys on vakio. Jännitysvaruudessa Mohr-Coulombin mallin myötöpinta muodostaa kuusikulmaisen kartion (kuva 6.9). (PLAXIS Material Models Manual 2015.)



Kuva 6.8. Kimmoisen ideaaliplastisen materiaalin käyttäytyminen esitettynä jännitys-muodonmuutos -kuvaajassa (PLAXIS Material Models Manual 2015).



Kuva 6.9. Mohr-Coulombin myötöehto pääjännityskoordinaatistossa, kun koheesio  $c = 0$  (PLAXIS Material Models Manual 2015).

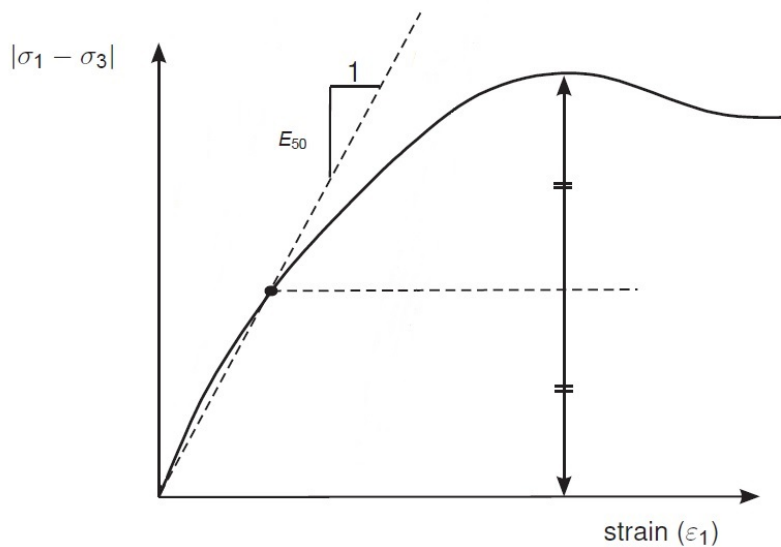
Mohr-Coulombin mallin käyttöä varten täytyy materiaalista tutkia viisi materiaalin ominaisuusparametria, jotka ovat esitetty taulukossa 6.3. Malli soveltuu hyvin alustaviin laskelmiin, koska tällä mallilla tehdyt laskelmat ovat nopeita ja antavat hyvän alustavan arvion rakenteen muodonmuutoksista ennen tarkempia laskelmia. (PLAXIS Material Models Manual 2015.)

Taulukko 6.3. Mohr-Coulomb mallin tarvittavat parametrit.

Symboli	Parametrin nimi	Englanninkielinen nimi	Yksikkö
E	kimmomoduuli	Young's modulus	kN/m <sup>2</sup>
$\nu$	Poissonin luku	Poisson's ratio	-
$\varphi$	kitkakulma	Friction angle	°
c	koheesio	Cohesion	kN/m <sup>2</sup>
$\Psi$	dilataatiokulma	Dilatancy angle	°

Mohr-Coulombin materiaalmallin parametreista jäykkyysparametreja ovat kimmomoduuli (E) ja Poissonin luku ( $\nu$ ). Kimmomoduuli kuvastaa kappaleen muodonmuutosta siihen kohdistuvan voiman vaikutuksesta. Kuvassa 6.10 on esitetty kimmomoduulin määrittäminen kolmiaksaalikokeen testituloksesta jännitys-muodonmuutos -kuvaajassa. Kimmomoduulin  $E_{50}$ -arvoa käytetään yleensä Mohr-Coulombin materiaalmallissa.  $E_{50}$ -arvo saa-

daan materiaalin kolmiakiaalikokeen tuloksesta mittaamalla sekanttimoduulin kulma-kerroin puolessa välissä materiaalin murtokestävyyttä. Poissonin luku kuvaa materiaalin kokoonpuristuvuutta materiaali-jännitysten aiheuttamien vastakkaisuuntaisten muodonmuutosten avulla. Poissonin luvun arvo on tavanomaisesti välillä 0,3...0,4 ja sen maksimiarvo on 0,5, jolloin materiaali on täysin kokoonpuristumatonta. (Lojander 1985, Liikennevirasto 2013, PLAXIS Material Models Manual.)



Kuva 6.10. Kimmomoduulin määrittäminen kolmiakiaalikokeen jännitys-muodonmuutos -kuvaajasta (muokattu lähteestä: PLAXIS Material Models Manual).

Kitkakulma ( $\varphi$ ), koheesio ( $c$ ) ja dilataatiokulma ( $\Psi$ ) ovat Mohr-Coulombin materiaali-mallin plastisia parametreja, joilla määritellään materiaalin leikkauslujuutta. Kitkakulma, eli leikkauskestävyysskulma kuvaa maan sisäisestä kitkasta ja rakeisuudesta johtuvaa leikkauslujuutta. Koheesio on maan sisäisistä maata koossa pitävistä voimista johtuva ominaisuus. Savella suurin osa leikkauslujuudesta muodostuu koheesiosta. Kitkamaalajeilla, kuten hiekalla ja soralla pääosa leikkauslujuudesta muodostuu kitkakulmasta. (Lojander 1985, Liikennevirasto 2013.)

Dilataatiokulmalla tarkoitetaan maan muodonmuutosnopeutta. Dilataatiokulma on savilla ja siltillä yleensä lähellä nollaa, elleivät ne ole selvästi ylikonsolidoituneita. Kitkamaille dilataatiokulma riippuu maan tiiveydestä sekä kitkakulmasta. Dilataatiokulma on verrannollinen materiaalin kitkakulmaan, joten se voidaan arvioida kitkakulman avulla. Esimerkiksi hiekan dilataatiokulmana voidaan käyttää kitkakulman arvoa, josta on vähennetty

30 astetta. Alle 0 asteen dilataatiokulmaa voidaan käyttää vain erittäin löyhälle hiekalle. (PLAXIS Material Models Manual 2015.)

### 6.4.3 Stabiliateetilaskelmat elementtimenetelmällä

Tarkemmat stabiliateetilaskelmat Lahdentien meluvallille on tässä työssä tehty elementtimenetelmään perustuvalla PLAXIS 2D AE –laskentaohjelmalla. Ohjelmalla laskenta pystytään tehdä vaiheittain niin, että pystytään tarkastelemaan jokaisen rakennusvaiheen muodonmuutoksia ja stabiliateettia erikseen. Jokaiselle vaiheelle on asetettu myös rakentamisen kesto päivissä. PLAXIS-laskennan vaiheet sekä niiden arvioidut päättymispäivät rakentamisen alkamisesta on listattu kuvassa 6.11. Tietyn vaiheen pituus päivissä voidaan laskea vähentämällä arvioidusta päättymispäivästä edellisen vaiheen päättymispäivä.

ID	Calculation type	Loading type (D	Pore pressure cal..	Estimated en..
Alkutilanne [InitialPhase]	<b>K0 procedure</b>	<b>Staged</b>	<b>Phreatic</b>	<b>0,000 day</b>
Vallit 1 [Phase_12]	Consolidation	Staged c	Phreatic	14,00 day
Täyttö 1 [Phase_2]	Consolidation	Staged c	Phreatic	42,00 day
Massastab 1 [Phase_9]	Consolidation	Staged c	Phreatic	56,00 day
Murskepatja 1 [Phase_3]	Consolidation	Staged c	Phreatic	70,00 day
Konsolidaatio 1 [Phase_16]	Consolidation	Staged c	Phreatic	210,0 day
Vallit 2 [Phase_4]	Consolidation	Staged c	Phreatic	224,0 day
Täyttö 2 [Phase_17]	Consolidation	Staged c	Phreatic	238,0 day
Massastab 2 [Phase_...]	Consolidation	Staged c	Phreatic	252,0 day
Murskepatja 2 [Phase_...]	Consolidation	Staged c	Phreatic	266,0 day
Konsolidaatio 2 [Phase_...]	Consolidation	Staged c	Phreatic	406,0 day
Huippu [Phase_5]	Consolidation	Staged c	Phreatic	434,0 day
Loppukonsolidaatio	Consolidation	Staged c	Phreatic	574,0 day
Safety 3b [Phase_1]	Safety	Incremer	Use pressures f	574,0 day
<b>Safety 3 [Phase_...]</b>	<b>Safety</b>	<b>Incremer</b>	<b>Use pressure</b>	<b>434,0 day</b>
Safety 2b [Phase_28]	Safety	Incremer	Use pressures f	238,0 day
Safety 2a [Phase_27]	Safety	Incremer	Use pressures f	224,0 day
Safety 1b [Phase_24]	Safety	Incremer	Use pressures f	42,00 day
Safety 1a [Phase_23]	Safety	Incremer	Use pressures f	14,00 day

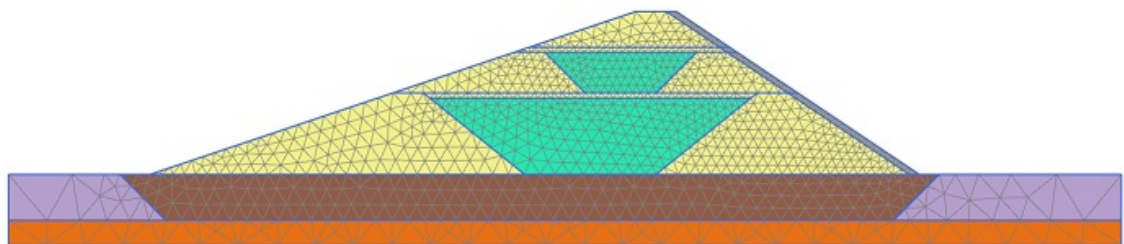
Kuva 6.11. PLAXIS-laskentaohjelman vaiheet suunnitellun meluvallin laskelmissa.

PLAXIS-laskennoissa käytettiin tilavuuspainon, koheesion ja kitkakulman osalta samoja materiaaliparametreja, kuin alustavissa liukupintalaskelmissa. Näiden parametrien lisäksi tarvittiin Mohr-Coulombin materiaalimallia varten dilataatiokulma, kimmomoduuli sekä Poissonin luku. Lisäksi materiaaleille arvioitiin pysty- ja vakaasuuntaisille vedenläpäisevyyksille arvot. PLAXIS-laskennoissa käytetyt laskentaparametrit on esitetty taulukossa 6.4.

Taulukko 6.4. Lahdentien meluvallin PLAXIS-laskennoissa käytetyt laskentaparametrit.

Materiaali	Tilavuuspaino		Koheesio	Kitkakulma	Dilataatiokulma	Kimmomoduuli	Poissonin luku	Vedenläpäisevyys	
	$\gamma_{\text{unsat}}$	$\gamma_{\text{sat}}$	$c$	$\varphi_u$	$\psi$	$E'$	$\nu'$	$k_x$	$k_y$
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°	°	kN/m <sup>2</sup>	-	m/pv.	m/pv.
Pulveroitu betoni	17	19	5	40	10	200000	0,3	1	1
Läjitetty savi	15	16	5	0	0	5000	0,3	1E-05	1E-05
Stabiloitu savi	16,5	17	50	0	0	14000	0,3	5E-05	5E-05
Pienlouheverhous	18	20	3	42	12	300000	0,3	3	3
Kallioulouhe	18	20	0	42	12	300000	0,3	3	3
Silttinen savi	15,5	16,5	20	0	0	7500	0,3	1E-05	1E-05
Moreeni	19	21	1	38	8	150000	0,25	1	1

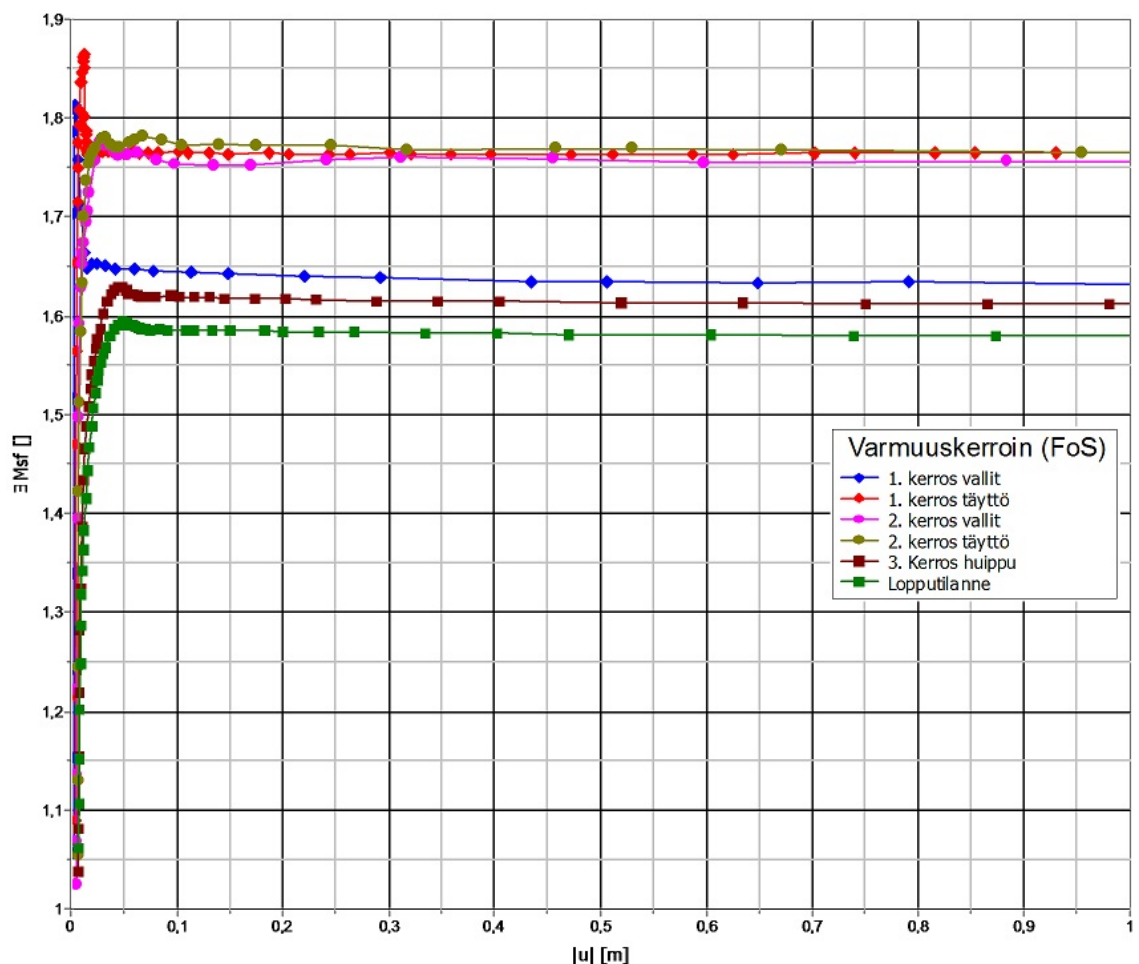
Elementtimenetelmää käyttävissä laskentaohjelmissa määritetään laskettavaa poikkileikkausta varten elementtiverkko (kuva 6.12), jossa poikkileikkauksen geometria jaetaan pieniin, yleensä kolmionmuotoisiin elementteihin. Elementtiverkon tiheys määrittelee laskennan tarkkuutta. PLAXIS-ohjelmalla pystytään määrittämään missä kohtaa poikkileikkausta halutaan tiheämpää elementtiverkkoa ja missä kohtaa riittää harvempi verkko. Tässä työssä tarkastellussa meluvallin poikkileikkauksen elementtiverkkoa tihennettiin jyrkemmässä luiskassa ja harvennettiin kuvan reunoissa olevissa pohjamaakerroksissa.



Kuva 6.12. PLAXIS-laskentaohjelman elementtiverkko valmiissa meluvallirakenteessa.

Elementtimenetelmän yksi heikkous on siinä, että sillä pystytään tavallisesti määrittämään vain yksi liukupinta, joka on laskennallisesti stabiliteetiltään heikoin. On mahdollista, että toinen lähes yhtä vaarallinen liukupinta jää huomaamatta. Stabiliteettia tarkastellessa elementtimenetelmällä on suositeltavaa tehdä rinnakkaisia laskelmia lamellimenetelmään perustuvalla laskentatavalla, jotta voidaan löytää kaikki rakenteen heikot kohdat. (Cheng 2006.)

Elementtimenetelmällä ei saada samalla tavalla valmiita liukupintoja ja niiden varmuuksia, kuin liukupintamenetelmää käyttävillä tietokoneohjelmilla. PLAXIS-ohjelma ilmoittaa rakenteen varmuuden sortumista vastaan vain sen heikoimmassa liukupinnassa. Meluvallille lasketut varmuudet sen eri rakennusvaiheissa on esitetty kuvassa 6.13 sekä taulukossa 6.5.

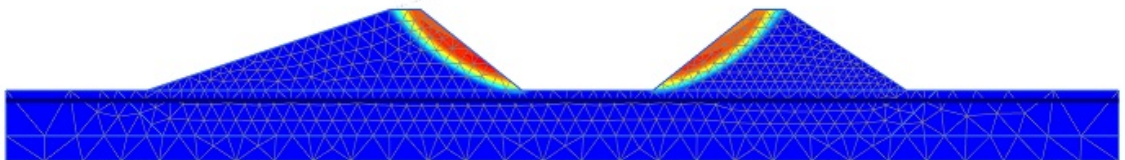


Kuva 6.13. Varmuuskertoimen määrittäminen PLAXIS 2D AE -ohjelmalla.

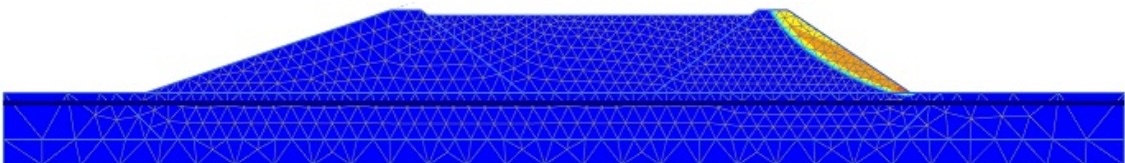
Taulukko 6.5. PLAXIS-ohjelmalla lasketut varmuuskertoimet.

Rakennusvaihe	Varmuuskerroin
1. kerroksen vallit	1,63
1. kerroksen täyttö	1,77
2. kerroksen vallit	1,76
2. kerroksen täyttö	1,77
3. kerros huippu	1,61
Lopputilanne	1,58

Heikoimman liukupinnan sijainnin ja muodon näkee PLAXIS-ohjelman tulosteista tutkimalla rakenteen kokonaissiirtymiä. Kuvissa 6.14...6.19 on esitetty meluvallirakenteen kokonaissiirtymät stabiliteetilaskennassa eri rakennusvaiheissa. Kuvien avulla pystytään visuaalisesti hahmottamaan, mikä osa rakenteesta siirtyy. Siirtymän arvon suuruudella ei ole varsinaisesti merkitystä, koska PLAXIS ohjelma laskee mihin kohtaan liukupinta muodostuu, kun rakenne on jo sortunut. Sinisellä värillä oleva alue laskentatulosteissa ei siirry ja sinisestä poikkeavalla olevat alueet siirtyvät. Näiden alueiden rajapintaan heikoin liukupinta laskennallisesti muodostuu.

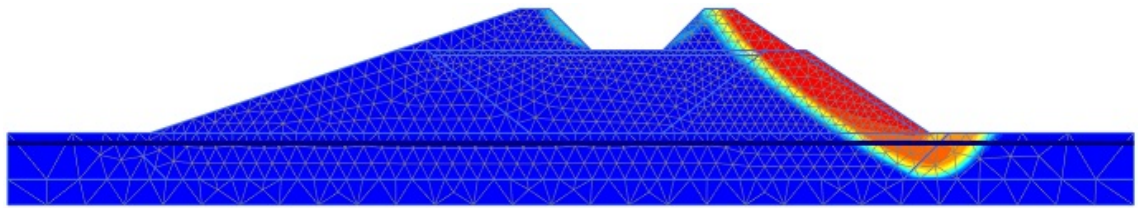


Kuva 6.14. Ensimmäisen kerroksen vallien rakentamisen jälkeinen heikoin liukupinta.

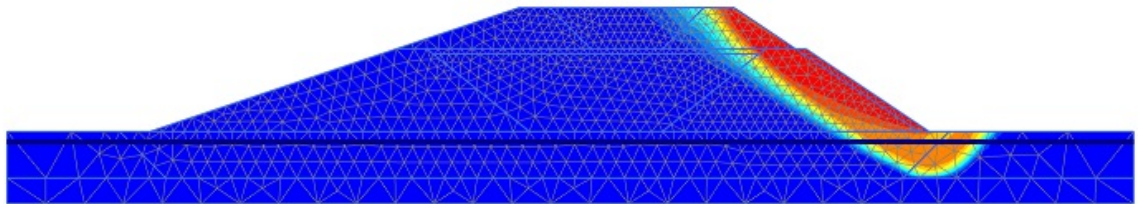


Kuva 6.15. Ensimmäisen kerroksen täytön jälkeinen heikoin liukupinta.

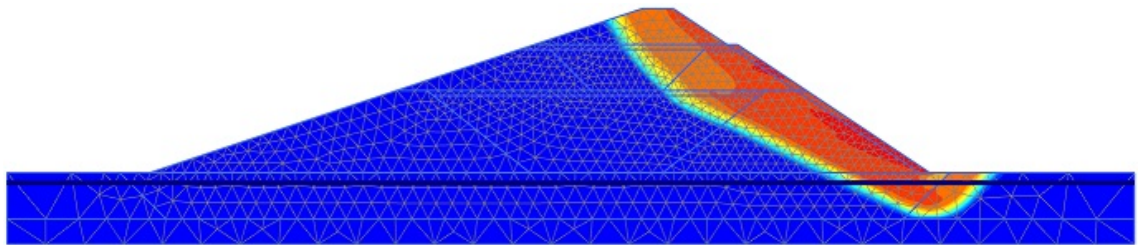




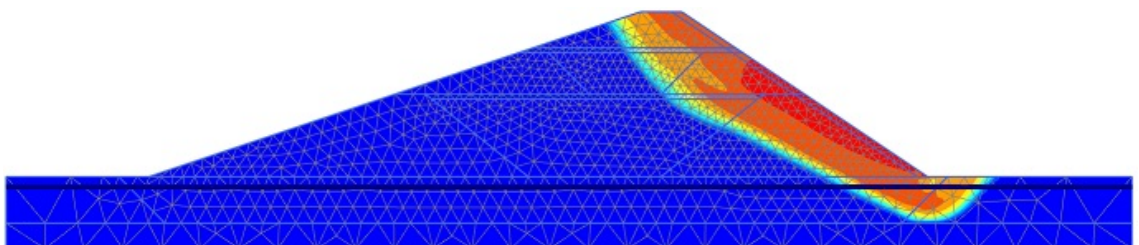
Kuva 6.16. Toisen kerroksen vallien rakentamisen jälkeinen heikoin liukupinta.



Kuva 6.17. Toisen kerroksen täytön jälkeinen heikoin liukupinta.



Kuva 6.18. Huipun rakentamisen jälkeinen heikoin liukupinta.



Kuva 6.19. Lopullisen rakenteen heikoin liukupinta.

#### 6.4.4 Meluvallin painumat ja niiden laskenta

Maaperä ja penkereet tiivistyvät kuormituksen alaisina. Painumat ovat suurempia hienorakeisilla maalajeilla kuten savi ja siltti, koska niiden kokoonpuristuminen on voimakkaampaa kuin karkearakeisilla maalajeilla. Yleisesti painuma on haitallisempaa, jos se on epätasaista. Epätasainen painuma aiheuttaa rakenteisiin vääntö- ja leikkausrasituksia sekä niistä syntyviä vaurioita. (Alanen 2013.)

Maarakenteisessa meluvallissa epätasainen painuma ei ole kuitenkaan kovin suuri ongelma, koska ne ovat joustavia rakenteita, joiden vaurioitumistodennäköisyys on pieni.

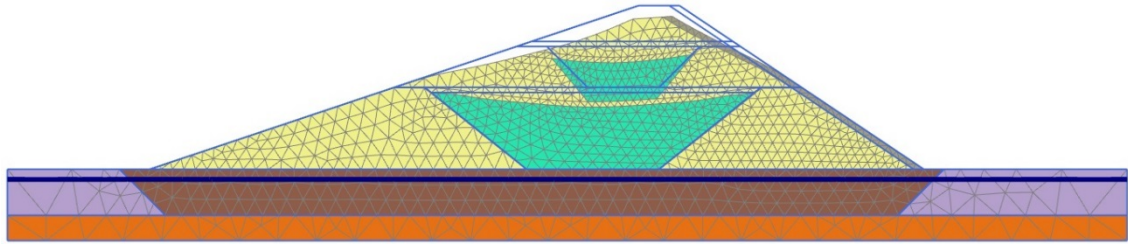
---

Meluvallin muoto muokkautuu jonkun verran epätasaisten painumien myötä, mutta siitä ei ole suurta haittaa, koska vallin ei tarvitse olla tasainen. Lisäksi valliin tulee pintakerros, jonka avulla voidaan häivyttää jo syntyneitä epätasaisuuksia. Myös kasvillisuuden avulla meluvallin epätasaisuutta voidaan häivyttää tai korostaa halutun ulkoasun saavuttamiseksi. Liikenneviraston (2015) ohjeen mukaan olisi maisemoinnin kannalta jopa hyvä asia, ettei meluvalli olisi aivan tasainen, koska pitkä ja tasapaksu meluvalli näyttää yksitoikkoiselta.

Työssä esitetty massiivinen meluvalli rakennetaan useassa kerroksessa pitkän ajan kuluessa. Tällöin suuri osa painumasta ehtii tapahtua ennen kuin seuraavaa kerrosta aletaan rakentaa. Uuden kerroksen rakentaminen korjaa aiemman kerroksen mahdollisen epätasaisuuden. Vallin painuminen tulee kuitenkin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta voidaan arvioida paremmin tarvittavia massamääriä ja että päästään tavoitekorkeuden painumien jälkeen.

Painumalaskenta on tässä työssä tehty elementtimenetelmään perustuvalla PLAXIS 2D AE -laskentaohjelmalla, koska sillä voidaan tarkemmin mallintaa vaiheittain rakennettavan massiivisen penkereen sekä sen rakentamisen aikana syntyvät painumat. Vaiheittain rakennettavassa penkereessä painuman laskentaan liittyvät yhtälöt ovat epälineaarisia, joten klassisten painumalaskentamenetelmien käyttö saattaa johtaa vakaviin virheisiin (Liikennevirasto 2010).

Tämän diplomityön meluvallikohteessa tärkein tutkittava asia painumalaskennalla on vallin huipun kokonaispainuma. Laskelmien avulla halutaan varmistaa, että liian suuria painumia ei syntyisi, jotta välttyttäisiin yllättäviltä riskeiltä ja suunniteltu korkeus saavutettaisiin. Mohr-Coulombin materiaalmalli ei ole kuitenkaan kovin tarkka siirtymien ja painumien laskennassa, joten painumalaskentaan tulee suhtautua kriittisesti. Materiaalimallia on käytetty, koska tarkempien materiaalmalleihin tarvittavia parametreja ei ole vielä nykyisessä suunnitteluvaiheessa saatavilla. Laskennalla saadut lopulliset meluvallin painumat olivat suuruudeltaan noin 50...160 mm riippuen meluvallin poikkileikkauksesta. Meluvallista tehdyn laskentapoikkileikkauksen muodonmuutokset on esitetty kuvassa 6.20. Ennen meluvallin rakentamista olisi syytä tehdä tarkempia laskelmia meluvallin painumisesta.



Kuva 6.20. Meluvallin muodonmuutokset kymmenkertaisella skaalauksella.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Vantaan Leppäkorpeen suunnitellun meluvallin rakentamiskustannukset ovat suuria sen massiivisen koon takia. Kustannuksiltaan vartenotettavia vaihtoehtoja tässä työssä esitetyn uusiomateriaaleja ja niiden vastaanottomaksuja hyödyntävän rakennustavan sijaan ei ole. Alhaisten kustannusten lisäksi meluvallin rakentaminen uusiomateriaaleilla on myös ekologisesti järkevä ratkaisu. Uusiomateriaaleja hyödyntämällä normaalisti jätteenksi luokitellulle materiaalille saadaan hyödyllinen käyttökohde, jolloin niitä ei tarvitse läjittää maankaatopaikalle. Ennen meluvallin rakentamista tulee kuitenkin ottaa huomioon uusiomateriaalien käytön lupavaatimukset.

Suunnitellun meluvallin pohjan pinta-alasta noin puolella on päällimmäisenä maakerrokseksi pehmeitä savi- ja silttimaita. Pehmeät maakerrokset meluvallin alla eivät kestä meluvallin omasta painosta syntyvää kuormitusta, joten pohjamaa täytyy vahvistaa. Meluvallin pohjanvahvistus on suunniteltu tehtävän massanvaihtokaivulla, jossa pehmeät maakerrokset poistetaan ja korvataan kallioulouheella. Massanvaihtotäytöllä korvattavat maakerrokset ovat paksuudeltaan maksimissaan viisi metriä maanpinnan tasosta mitattuna. Näin matalalle ulottuvan massanvaihtokaivun tekeminen ei ole kovin vaativaa, mutta meluvallin pohjan suuresta pinta-ala johtuen tarvittavan massanvaihdon määrä on suuri. Tästä johtuen massanvaihtotyö ja massanvaihtoa varten hankittava louhe aiheuttavat merkittäviä kustannuksia meluvallin rakentamiselle. Materiaalikustannuksia voidaan pienentää louhimalla massanvaihtotäyttö rakennusalueen lähistöllä olevista kallioista.

Massanvaihtokaivulla poistettavien pehmeiden maakerrosten lisäksi meluvallin alueelta tulee poistaa myös kaikki pehmeät tai humuspitoiset pintamaakerrokset. Massanvaiht-

---

dossa ja pintamaakerrosten poistossa tulee olla erittäin huolellisia, ettei vallin tai massanvaihdon alle jää ohuita pehmeitä maakerroksia. Nämä pehmeät kerrokset voivat aiheuttaa vakavan stabiliteettiriskin liukupinnan kulkiessa ohutta kerrosta pitkin.

Tässä työssä geoteknisiä laskelmia suoritettiin kahdella laskentaohjelmalla. Alustavat laskelmat tehtiin lamellimenetelmään perustuvalla GeoCalc 3.0 -laskentaohjelmalla ja tarkemmat laskelmat monimutkaisemmalla elementtimenetelmään perustuvalla PLAXIS 2D AE -laskentaohjelmalla. Epätarkoilla lähtötiedoilla vakavuuden tarkastelussa PLAXIS-laskentaohjelma ei ole sen parempi kuin liukupintamenetelmään perustuvat laskentaohjelmat. Useaa menetelmää käyttäen voidaan vertailla saatuja tuloksia ja saada lisää varmuutta laskentatuloksiin.

Uusiomateriaalien epähomogeenisuudesta johtuen tarkkojen laskentaparametrien määrittäminen näille materiaaleille on erittäin haasteellista, joten tehtyihin laskelmiin tulee suhtautua kriittisesti. Savelle tehdyt stabilointikokeet eivät myöskään välttämättä vastaa sitä materiaalia mitä tullaan käyttämään lopullisessa meluvallirakenteessa. Ennen meluvallin rakentamista ja lopullisten materiaalivalintojen sekä rakenteen varmistuessa tulee meluvallista tehdä tarkempia stabiliteetti- ja painumalaskelmia.

Stabiliteettilaskentojen perusteella valmiissa meluvallirakenteessa stabiliteetin varmuuskerroin on samaa suuruusluokkaa laskettaessa lamelli- tai elementtimenetelmän avulla. Tämä havainto vahvistaa stabiliteettilaskentojen luotettavuutta. Meluvallirakenteen stabiliteetti on merkittävästi heikompi meluvallin jyrkemmässä, kuin loivemmassa luiskassa. Stabiliteettilaskelmilla päästiin suunnitellulla kolmikerroksisella meluvallirakenteella tavoitteelliseen 1,5 varmuuskertoimeen lopullisessa rakenteessa sekä kaikissa rakennusvaiheissa.

Lähtötietojen epävarmuuden takia laskennoissa käytettiin yksinkertaista Mohr-Coulombin materiaalmallia, jonka soveltuvuus painumalaskentaan on kyseenalainen. Pulveroidusta betonista tehdyt vallit eivät painu helposti, mutta altaiden täyttömateriaalina käytetyssä stabiloidussa savessa voi tapahtua merkittäviä painumia. Painumariski on suurempi loivemmassa luiskassa, koska sen puolella toisen allaskerroksen pulveroidusta betonista tehdyt vallit ulottuvat pidemmälle stabiloidun saven päälle.

---

Painumalaskennassa saatu 160 mm:n maksimipainuma lopulliselle tilanteelle 14 metriä korkeassa meluvallissa vaikuttaa pieneltä. Kerroksittain ja pitkällä aikavälillä rakennettava meluvallirakenne auttaa meluvallin painumien tasoittumisessa, koska ylemmällä kerroksella voidaan tasata alemmassa kerroksessa tapahtuneita painumia. Mikäli meluvallin hyötykorkeutta merkittävästi vähentäviä painumia esiintyy, niitä voidaan korjata myöhemmin täyttömaiden tai kasvillisuuden avulla.

Laskelmiin sisältyy monia epävarmuustekijöitä, joten jatkuva vallin muodonmuutosten ja täyttöainesten ominaisuuksien seuranta rakentamisen aikana sekä myös rakenteen valmistumisen jälkeen on tärkeää. Materiaalien ominaisuuksia voidaan tutkia näytteenottojen ja kairausten avulla. Meluvallissa tapahtuvia siirtymiä voidaan seurata esimerkiksi inklinometriin avulla. Laskelmien perusteella rakenteen sortumisen riski on suurimmillaan valmiissa meluvallirakenteessa sekä rakennusvaiheessa alimman kerroksen allasvallien sisäpuolen luiskissa. Seurannasta saatua tietoa voidaan muiden vastaavien meluvalhankkeiden geoteknisessä suunnittelussa.

---

## Lähdeluettelo

- Alanen, J., 2013. Pohjaveden alenemisesta aiheutuvien painumien mallintaminen pehmeikkökohteissa. Espoo.
- Allu Finland Oy. Allu Finland Oy:n verkkosivut. [Viitattu 16.12.2015] <http://www.allu.net/fi/>
- Atlas Copco Oy. Atlas Copco Oy:n verkkosivut. [Viitattu 10.12.2015] <http://www.atlas-copco.fi/>
- Autiola, M., Forsman, J., Jyrävä, H., Kiviniemi, O., Lahtinen, P., Lindroos, N., Ollila, S., Ronkainen, M. & Sikiö, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Ramboll Finland Oy. Verkkojulkaisu. [Viitattu 16.12.2015]. Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)
- Cheng Y. 2005. Slope 2000 stability theory manual. Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong.
- Cheng Y.M. et al. 2006. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. Computers and Geotechnics. Vol. 34. No. 3. s. 137-150.
- Forsman, J., Hakari, M., Ronkainen, M. & Sikiö, J. 2011. Rakennusohje koekäyttöön. Foamit vaahtolasimurske. Uusioaines Oy. Verkkojulkaisu. [Viitattu 10.11.2015]. Saatavilla: <http://www.foamit.fi/dowebeasycms/sivusto/dokumentit/foamit/foamit-rakennusohje.pdf>
- Forsman, J., Jyrävä, H., Lahtinen, P., Niemelin, T. & Hyvönen, I. 2014. Massastabilointikäsikirja. ALLU Stamix Oy, Certification Center CTCR Oy / RuSol, Finnsementti Oy, Lemminkäinen Infra Oy, Nordkalk Oy ja Ramboll Finland Oy. Verkkojulkaisu. Saatavilla: [http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014\\_06\\_24.pdf](http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf)
- HSY. 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Pääkaupunkiseudun jätevirrat. Verkkolähde. [Viitattu 7.12.2015]. Saatavilla: <http://www.pksjatevirrat.fi/?mo=wastetats&y=2012>
- Häkkinen, I. 2005. Rengaspaalien käyttö maarakentamisessa. Diplomityö.
- InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1: Väylät ja alueet. 555 s. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy, Helsinki. ISBN 978-951-682-958-9.

- 
- Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Koivuhuhta, A., Korhonen, T., Luukkanen, S., Mörsky, P., Neitola, R., Punkkinen, H. & Wahlström, M. 2010. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. VTT Tiedotteita 2567. Kopijyvä Oy, Kuopio. ISBN 978-951-38-7679-1. ISSN 1235-0605.
- Kontkanen, O. ja Kokkonen, J. 2015. Lahdenväylä (Vt 4), Leppäkorpi-Jokivarsi meluselvitys. Sito Oy.
- Lahtinen, P., Valkeisenmäki, A., ym. 2013. UUMA2 Demonstraatio-ohjelma 2013-2017. Infrarakentamisen uusi materiaalitekнологia. Verkkojulkaisu. [Viitattu: 21.10.2015]. Saatavilla: <http://www.uuma2.fi/uuma2-ohjelma>
- Liikennevirasto. 2010a. Syvästabiloinnin suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 11/2010. Juvesprint Oy, Tampere 2010. 76 s. ISBN 978-952-255-031-6. ISSN 1798-6648. Saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2010-11\\_syvastabiloinnin\\_suunnittelu\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-11_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf)
- Liikennevirasto. 2010b. Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 9/2010. Edita Prima Oy, Helsinki 2010. 107 s. ISBN 978-952-255-028-6. ISSN 1798-6648. Saatavilla: [http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf3/lo\\_9-2010\\_tiepenkereiden\\_ja\\_leikkausten\\_suunnittelu.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf3/lo_9-2010_tiepenkereiden_ja_leikkausten_suunnittelu.pdf)
- Liikennevirasto. 2011. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 5/2011. Kopijyvä Oy, Kuopio 2011. 41 s. ISBN 978-952-255-639-4. ISSN 1798-6648. Saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2011-05\\_kevennysrakenteiden\\_suunnittelu\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf)
- Liikennevirasto. 2013. Osavarmuus- ja kokonaisvarmuusmenettelyn vaikutus vanhojen kriittisten ratapenkereiden laskennalliseen varmuustasoon. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 51/2013. Verkkojulkaisu. 96 s. ISBN 978-952-255-368-3. ISSN 1798-6664. Saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2013-51\\_osavarmuus\\_ja\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-51_osavarmuus_ja_web.pdf)
- Liikennevirasto. 2015. Tien melusteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 21/2015. Helsinki. Verkkojulkaisu. 87 s. ISBN 978-952-317-135-0. ISSN 1798-6648. Saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_21\\_2015\\_tien\\_melusteiden\\_suunnittelu\\_010715\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_21_2015_tien_melusteiden_suunnittelu_010715_web.pdf)

- 
- Lojander, M. 1985. RIL 157-I Geomekaniikka I. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. 479 s. Otapaino, Espoo. ISBN 951-758-086-X. ISSN 0356-9403.
- Mäkelä, H & Höynälä, H. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakentamisessa. Materiaalit ja käyttökohteet. Tekes. Teknologia katsaus 91/2000.
- Oravainen, R. 1999. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Verkkojulkaisu. [Viitattu 10.11.2015]. Saatavilla: <http://www.kvvy.fi/opasvihkonen.pdf>
- Pajukallio, A-M., Wahlström, M. & Alasaarela, E. (toim.) 2011. Maarakentamisen uusiomateriaalit. Ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen. 106 s. Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- PLAXIS Material Models Manual. 2015. Build 7519. [Viitattu 28.10.2015]. Saatavilla: <http://www.plaxis.nl/files/files/2D-3-Material-Models.pdf>
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1999. Geotekniikka. 17. painos. Oy Yliopistokustannus/Otatieto, 1979. Hakapaino Oy, Helsinki. 307 s. ISBN 951-672-257-1.
- Saljola, S. 2011. Maaluiskien stabiliteettitarkastelut elementtimenetelmällä eurokoodin mukaan. Diplomityö. 80 + 5 s.
- SCC Viatek. 2002. Uusiomateriaalit yhdyskuntien liikenneväylien pehmeikkörakentamisessa. Loppuraportti. Ekoinfra-projekti 2000–2002. Espoon tekninen keskus.
- Suomen Rengaskierrätys Oy. 2015. Renkaankierrätys 2/2015, Suomen Rengaskierrätys Oy:n tiedotuslehti. Saatavilla: [http://www.rengaskierratys.com/files/207/Renkaankierratys\\_2-2015.pdf](http://www.rengaskierratys.com/files/207/Renkaankierratys_2-2015.pdf)
- Suominen, M. 2013. Kaivumaiden hyödyntämisen kehittämisohjelma.
- Söderström, T., Rinnepelto, P., ym. 2015. Rengasrouheen käyttö maarakennuskohteissa. Sovelluskohteet ja tutkimustulokset. Apila Group Oy Ab, Suomen Rengaskierrätys Oy ja Kuusakoski Oy. Verkkojulkaisu. [Viitattu 7.12.2015]. Saatavilla: [http://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe\\_maarakentamisessa\\_6.2015.pdf](http://www.rengaskierratys.com/files/74/Rengasrouhe_maarakentamisessa_6.2015.pdf)
- Tiehallinto. 2011. Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet. ISBN 951-726-743-6. Oy Edita Ab. Saatavilla: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100002-01i.pdf>
- Tielaitos. 1995. Tietoa tiensuunnitteluun nro 17. Jyrkkäluiset meluvallit. Tielaitoksen kehittämiskeskus.



---

VNp 993/1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. Voimaantulo: 1.1.1993.

Valtion säädöstietopankki Finlex. [Viitattu 9.12.2015]. Saatavilla:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>

Wigren, V., Gunnelius, K. 2015. Savistabilointikokeet Leppäkorven ja Pitkäsuon liejujaltaan savinäytteille. Renotech Oy. Alustava tutkimusraportti.